DORUK / Tarih
Resimlerle Teknoloji Tarihi

Yazar:
Emre Dölen

Yayına Hazırlayan:
Niyazi Koçak

Kapak Tasarımı:
Doruk Can Koçak

Sayfa Tasarımı:
Fatma İrem Erol

© Doruk Yayıncılık 2023
Tüm hakları saklıdır. Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz.

ISBN: 978-975-553-982-9

Baskı: Nisan 2023

Baskı-Cilt:
Ertem Basım Yayın Dağıtım San. Ltd. Şti
Sertifika No: 48083

e-posta: info@dorukyayinlari.com
www.dorukyayinlari.com
Sertifika No: 43738

Resimlerle Teknoloji Tarihi

Yazar
Emre Dölen

Prof. Dr. Emre DÖLEN

14 Haziran 1945'de İstanbul'da doğdu. Orta öğrenimini Pendik Lisesi'nde tamamladıktan sonra 1962'de İ.Ü. Fen Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü'ne girdi ve İ.Ü. Kimya Fakültesi'nden Kimya Y. Mühendisi olarak mezun oldu. 1969'da İ.Ü. Kimya Fakültesi Anorganik Kimya Kürsüsü'ne asistan olarak girdi, 1972'de doktorasını verdi, 1979'da doçent oldu ve aynı yıl İstanbul İktisadi ve Ticari İlimler Akademisi'ne bağlı Nişantaşı Eczacılık Yüksek Okulu'na (günümüzdeki Marmara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi) Analitik Kimya öğretim üyesi olarak geçti. Marmara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi'nde 1988'de Analitik Kimya profesörü oldu. 1999 - 2002 döneminde Eczacılık Fakültesi Dekanlığı ve 1999 - 2001 döneminde Rektör Yardımcılığı görevlerinde bulundu. Bilim ve kimya tarihine öğrenciliğinden itibaren ilgi duymaya başladı ve 1980'li yılların sonlarında esas olarak bu alana yöneldi. 19. yüzyılda modern bilimin ve kimyanın Türkiye'ye girişi ile eğitim tarihi üzerinde yoğunlaştı. Uzun yıllar İ. Ü. Edebiyat Fakültesi Bilim Tarihi Bölümü'nde ve İstanbul Teknik Üniversitesi'nde çeşitli bilim ve teknoloji tarihi dersleri verdi. 1979 - 2012 yılları arasında kesintisiz 33 yıl Eczacılık Tarihi dersini verdi ve Eczacılık Tarihi kongrelerinden iki tanesini düzenledi. Uzun yıllar Türk Bilim Tarihi Kurumu yönetim kurulu üyeliği yaptı. 2012'de yaş sınırlaması nedeniyle emekliye ayrıldı. Kimya alanındaki çok sayıdaki ders kitabı ve bilimsel araştırma makalesinin yanında yoğunlaştığı bilim tarihi alanında yurt içinde ve yurt dışında yayınlanmış çok sayıda araştırması ve kitabı bulunmaktadır.

SUNUŞ

Günümüzde bilim ile teknoloji birbirinden ayrılamaz bir bütün oluşturmakta ve karşılıklı olarak birbirlerini etkilemektedirler. Ancak, bu ilişkinin geçmişi çok eski değildir. Genel olarak Miletoslu düşünür Thales (İ.Ö.625-545) ile başladığı kabul edilen bilim insanın evreni anlama çabasıdır ve temelinde insanın içinde yaşadığı evrenin yapısına ve işleyişine duyduğu merak vardır. Teknoloji ise doğal kaynaklardan yola çıkarak insan ihtiyaçlarını gidermede kullanılan her türlü şeyin üretim yöntemidir. Teknoloji insanın ortaya çıkışı ile başlamıştır. Teknoloji çok basit olabildiği gibi günümüzdeki bazı örneklerde olduğu gibi çok karmaşık da olabilir. İlkel insanın doğal bir taşı eline alarak başka şeyleri kırmak veya ezmek için kullanması en basit mekanik teknolojidir. İnsanın ateşi denetim altına aldıktan sonra etleri kızartması ve daha sonra yemek pişirmesi çok basit ama günümüzde de vazgeçmemiz olanaksız olan bir kimyasal teknolojidir. Çünkü, kızartma ve pişirme sırasında yiyeceklerin kimyasal yapısında bir değişim ortaya çıkmaktadır. Günümüzde bir elimizde çok karmaşık elektronik teknolojiye dayanan akıllı telefonumuzu tutarken öteki elimizle de çok eski bir teknolojiye göre ateşte kızartılmış etleri yiyoruz. Bazen çok basit gibi görünen teknolojik buluşlar çok büyük sonuçlar doğurabilir. Örneğin, İngiltere'de bir dokumacı olan John Kay'in 1733'de dokuma tezgâhında mekiği elle atmak yerine altına dört tane küçük tekerlek takıp bir iple çekerek hareket ettirmesi Sanayi Devrimi'ni doğurmuştur.

Teknoloji binlerce yıl rastlantısal buluşlar veya sınama ve yanılma yoluyla gelişmiş ve bilimle ayrı yollardan ilerlemiştir. Orta Çağ sonlarından itibaren bilim ile teknolojinin yolları zaman zaman kesişmeye başlamıştır. Bunun ilk örneklerinden biri pusuladır. Pusulanın doğru kullanılabilmesi için dünyanın mıknatıslığı ve sapma açısının değişimi konusunda bilimsel bilgiye gerek vardır ve bu alandaki bilimsel çalışmaların başlamasına neden olmuştur. Bilim ile teknolojinin yolları XVIII. yüzyıl sonlarından itibaren daha sık kesişmeye başlamış ve XIX.

yüzyılda kimya ve elektrik alanlarında artık bilimsel bilgi olmadan yeni teknolojiler üretilemez duruma gelmiş ve böylece bilim ile teknoloji arasında ayrılmaz bir birlik ortaya çıkmıştır.

Teknolojinin bütün alanlarının tarihsel gelişimini bir kitap içinde verebilmek olanaksızdır. Bu kitapta daha çok kullanılan enerji kaynaklarına göre sınıflandırılarak bazı önemli teknoloji alanlarının tarihsel gelişimi anlatılmıştır. Birinci kısımda suyun iletimi, dağıtılması, yükseltilmesi, değirmenler, su çarklarının bir güç kaynağı olarak kullanılması ve yel değirmenleri ele alınmıştır. İkinci kısımda ateş teknolojisi veya başka bir deyimle piroteknoloji kapsamında en önemli konulardan olan çömlekçilik, bakır ile tunç, demir ile çelik ve camcılık konusundaki teknolojik gelişmeler anlatılmıştır. Üçüncü kısımda buhar makinesinin doğuşu ve buhar teknolojisinin ve dördüncü kısımda da elektrik teknolojisinin tarihsel gelişimi incelenmiştir.

Teknolojik gelişmenin tarihini anlatılırken uzun yazılı açıklamalar yerine resim, şema ve şekillerin çok daha öğretici ve kolay anlaşılmayı sağlayıcı olduğu deneyiminden hareketle bol sayıda görsel malzeme kullanılmıştır. Görsel malzemenin seçiminde olanak oranında tarihsel kaynaklar kullanılmıştır. Teknolojik gelişmeler genellikle XX. yüzyılın başına ve bazı konularda ortasına kadar getirilmiş ve bütün konularda Türkiye'deki gelişmeler ile ilişki kurulmuştur.

Bu kitap yaklaşık kırk yıllık bir birikime dayanmaktadır. Marmara Üniversitesi kurulduğunda Fen Bilimleri Enstitüsü müdürlüğüne atanan geniş görüşlü ve gerçek bir "öğretmen" olan Prof. Reşat Otman lisansüstü öğrencilerine Teknoloji Tarihi dersinin okutulmasını istedi ve 1983'den itibaren bu dersi vermeye başladım. Daha sonra gelen müdür Prof. Cemil Şenvar ise "Fen Bilimleri Enstitüsü'nde sosyal bilim dersi olmaz" diyerek dersi kaldırdı. Daha sonra 1990'lı yılların başından itibaren yirmibeş yılı aşkın bir süre İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Bilim Tarihi Bölümü'nde verdiğim çeşitli derslerin içinde teknoloji tarihine ilişkin konuları da işledim. Son olarak 2000'li yıllarda beş yıl süreyle İstanbul Teknik Üniversitesi'nde Teknoloji Tarihi dersi verdim. Bu kitap bu uzun süre içinde hazırlayarak öğrencilere vermiş olduğum ders notlarının genişletilerek yeniden düzenlenmesi ile oluşmuştur.

Bu kitabın yayınlanması dolayısıyla benim teknoloji tarihi ile ilgilenmeme vesile olan Prof. Reşat Otman'ı saygıyla anarken kitabın basılmasına aracılık eden kadim dostum Prof. Zeki Tez'e ve kitabı yayınlayan Doruk Yayınları'na teşekkür eder kitabın okuyuculara yararlı olmasını dilerim.

Sapanca, 12 Kasım 2022
Emre DÖLEN

İÇİNDEKİLER

SUNUŞ 5

İÇİNDEKİLER 7

KISIM - I : SU VE RÜZGÂR TEKNOLOJİSİ

1. SUYUN İLETİLMESİ VE DAĞITILMASI 19
Suyun iletilmesinin önemi 19
Su kemerleri ve su yolları 20
Jerwan su kemeri 20
Segovia su kemeri 23
Pont du Gard su kemeri 25
Su iletim ve drenaj tünelleri 30
Samos Adası su tüneli 32
Kopais Gölü drenaj tüneli 32
Fucinus Gölü drenaj tüneli 33
Seleucie drenaj tüneli 33
Kanat tünelleri 34
Barajlar 35
Su iletiminde kullanılan borular 35
Açık ve kapalı kanallar 36
Ahşap borular 36
Pişmiş toprak borular (künkler) 37
Taş borular 37
Kurşun borular 39
Font (dökme demir)borular 44
Bakır borular 45
Bazı antik kentlerin su sistemleri 45
Eski Anadolu kentlerinin su yolları 45
Köln kentinin su yolları 48
İstanbul'un su yolları 49
Su dağıtım sistemleri 56
Su terazileri 56
Eski Roma döneminde su dağıtım sistemleri 57
Su debisinin ölçülmesi 61
Su debisinin lüleler ile ölçülmesi 63

Ulaşım yolu olarak kanallar 65
Falkirk Wheel (Falkirk Çarkı) 78

2. SUYUN YÜKSELTİLMESİ 79
Suyun yükseltilmesinin önemi 79
Kaldıraç sistemi (seren veya şâduf) 79
Çıkrık 81
Arkhimedes vidası 83
Zincirli su dolapları 89
Çark tipi su dolapları 97
Tambur 97
Kepçeli çark 98
Madenlerden su çekilmesi 99
Noria (Na'ura) 103
Pistonlu pompalar (Tulumbalar) 110

3. SU DEĞİRMENLERİ 121
Su değirmeninin doğuşu 121
Yatay çarklı su değirmenleri 124
Dikey çarklı su değirmenleri 128
Bir güç kaynağı olarak su çarkı 135
Su türbinleri 142

4. YEL DEĞİRMENLERİ 151
Yel değirmenleri 151
Düşey milli yel değirmenleri 151
Yatay milli yel değirmenleri 155
Rüzgâra göre bütünüyle döndürülen değirmenler 157
Rüzgâra göre tepesi döndürülen değirmenler 160
Yel değirmenlerinin yön ve hızının ayarlanması 166
XIX. yüzyılda yel değirmenleri 170

KISIM - 1: KAYNAKLAR 173

KISIM - II: ATEŞ TEKNOLOJİSİ

5. ÇÖMLEKÇİLİK 181

Çömlekçilik 181
Biçimlendirme yöntemleri 183
El ile biçimlendirme yöntemleri 183
Çömlekçi çarkı 185
Pişirme işlemi ve fırınlar 187
Kırmızı - siyah keramikler 189
Kırmızı - siyah keramikler 189
Terra sigillata 194
Çin porselenleri 196
İslâm döneminde çömlekçilik 197
Çinicilik 200
Ortaçağ ve sonrasında çömlekçilik 204
Ortaçağ'da çömlekçilik 204
Bernard Palissy (1509 - 1589) 208
Çin porseleninin Avrupa'da yeniden keşfi 211
XVIII. ve XIX. yüzyıllarda seramik yapımı 214
Tuğla, kiremit ve kireç 221

6. BAKIR VE TUNÇ 227
Madencilik ve metalurji 227
Madencilik ve metalürji 227
Metalurjinin doğuşu 227
Metalurjide temel süreçler 229
Altın 233
Bakır 236
Doğada bulunuşu 236
Doğal bakır 238
Doğal bakırın dökümü 238
Oksitli ve karbonatlı cevherlerin işlenmesi 241
Şülfürlü cevherlerin işlenmesi 241
Arsenikli bakır 243
Kalay 244
Tunç (bronz) 245
Ortaçağ ve sonrasında tunç dökümü 248
Osmanlılarda top dökümü 251
Fatih döneminde top dökümü (XV. yüzyıl) 251
Fatih dönemine ilişkin ilginç bir tunç top 253

XVI. yüzyılda Avrupa'da top dökümü 255
XVII. yüzyılda İstanbul'da top dökümü 255
Mühendishaneler ve top dökümü 259
Çinko ve pirinç 263

7. DEMİR VE ÇELİK 267
Demir ve çelik 267
Eskiçağ'da demir 268
Demirin doğada bulunuşu 268
Demir ve çelik 268
Eskiçağ'da demir elde edilmesi 269
Demir ve mitoloji 274
Ortaçağ ve sonrasında metalurji 277
Madencilik ve metalurjideki gelişmeler 277
Körüklerin gelişimi 279
XVI. yüzyılda kullanılan fırınlar 282
Yüksek fırının doğuşu 285
Katalan fırını 285
Stückofen 286
Odun kömürü elde edilmesi 286
Yüksek fırının doğuşu 289
XVI. yüzyılda demir ve çelik üretimi 291
XVIII. yüzyılda Fransa'da demir elde edilmesi 294
Yüksek fırının gelişmesi 300
Yüksek fırının gelişmesi 300
Odun kömüründen kok kömürüne geçiş 300
Yüksek fırında havanın önceden ısıtılması 307
Yüksek fırının gelişmesi 312
Çelik elde etme yöntemleri 313
Sementasyon yöntemi 313
Pota çeliği 314
Dövme demir elde edilmesi (Puddling yöntemi) 318
Bessemer yöntemi 321
Thomas (Bazik Bessemer) yöntemi 329
Siemens - Martin yöntemi 331
XIX. yüzyılda demir ve çelik üretimi 334
Osmanlı döneminde demir üretimi 345

Osmanlı döneminde demir üretimi 345
Demirköy (Samakovcuk) Demirhanesi 346
Yüksek fırının Türkiye'de tanıtılması 350
Cumhuriyet döneminde demir üretimi 353
Elektrometalurji 358
Elektrometalurji 358
Alüminyumun bulunuşu 358
Alüminyumun ticari olarak elde edilmesi 360
Magnezyum elde edilmesi 366

8. CAMCILIK 369
Cam üretiminin gelişimi 369
Cam ve cam yapımı 369
Camın geçmişi 370
Eski cam biçimlendirme yöntemleri 374
A. Sinterleştirme yöntemleri 374
B. Kalıplama yöntemleri 375
C. Üfleme yöntemi 376
Eskicağ'da cam fırınları 378
Ortaçağ'da Avrupa'da cam üretimi 381
İslâm Ortaçağı'nda cam üretimi 384
XVI. yüzyılda Avrupa'da cam üretimi 388
XVI. ve XVII. yüzyıllardaki gelişmeler 394
Camcılık konusundaki kitaplar 394
Venedik camcılığı 399
Renkli camların elde edilmesi 401
Düz pencere camlarının yapılması 403
Vitray tekniği 403
Düz pencere camı üretimi 405
Döküm yöntemi ile cam levha elde edilmesi 410
XVIII. ve XIX. yüzyıllarda camcılık 413
Hammaddelerin elde edilmesi 413
Camın işlenmesi ve fırınlar 415
Osmanlılarda cam yapımı 424
XVI. ve XVII. yüzyıllar 424
XVI. yüzyılda cam fırınları 425
XVII. yüzyılda İstanbul'da cam fiyatları 431

Beykoz camları (XIX. yüzyıl) 434

KISIM - 2: KAYNAKLAR 437

KISIM - 3: BUHAR TEKNOLOJİSİ

9. BUHAR MAKİNESİNİN DOĞUŞU 445
Buhar makinesi 445
Buharın gücü konusunda ilk denemeler 446
İskenderiyeli Heron (İ.S I. yüzyıl) 446
Giambattista Della Porta (1538 - 1615) 447
Jean Salomon de Caus (1576 - 1626) 449
Evangelista Torricell (1608 - 1647) 450
Otto von Guericke'nin boşluk üzerine deneyleri 452
Edward Somerset (1601 - 1667) 456
Christian Huygens (1629 - 1695) 458
Denis Papin (1647 - 1712) 459
Thomas Savery (1650 - 1715) ve buharlı pompası 464
Thomas Newcomen (1663 - 1729) ve buhar makinesi 470
James Watt (1736 - 1819) ve gerçek buhar makinesinin doğuşu 479
Watt'ın atmosferik buhar makinesi 479
Watt'ın çift etkili buhar makinesi 487

10. BUHAR MAKİNESİNİN GELİŞİMİ VE BUHAR ÇAĞI 493
Buhar makinesinin gelişimi 493
Buhar makinelerinin valflarının gelişimi 494
Buhar kazanları 497
Yüksek basınçlı buhar makineleri 504
Çoklu genleşmeli (bileşik) buhar makineleri 508
Buhar makinesi tipleri 518
Buhar makinesinin verimi 527
Buhar makinelerinin Türkiye'ye girişi 531
Buhar makinelerinin Türkiye'ye girişi 531
Ahmed Besim Paşa (1850 - 1928) 531
Türkiye'de sanayide buhar makinesi kullanımı 535
Buhar makinesi ile çalışan fabrikalarda hareketin aktarılması 538
Demiryolu lokomotifleri 540

Demiryollarının gelişimi 554
Avrupa'da ve Dünya'da demiryollarının gelişimi 554
Türkiye'de demiryollarının gelişimi 560
Lokomobiller 567
Buharlı arabalar 569
Buharlı gemiler 573
Buhar türbinleri 587
Buhar türbinleri 587
Carl Gustaf Patrik de Laval (1845 - 1913) 589
Charles Algernon Parsons (1854 - 1931) 590
Auguste Camille Edmond Rateau (1863 - 1930) 595
Charles Gordon Curtis (1860 - 1953) 596
Buharlı çekiçler 598
İçten yanmalı motorlar 600
Etienne Lenoir (1822 - 1900) 600
Ernst & Barthold Körting kardeşler 602
Nikolaus August Otto (1832 - 1891) 604
Gottlieb Daimler (1834 - 1900) 606
Karl Benz (1844 - 1929) 610
Frederick William Lanchester (1868 - 1946) 613
Rudolph Diesel (1858 - 1913) 614
XX.yüzyılın başında içten yanmalı motorlar 616

KISIM - 3: KAYNAKLAR 619

KISIM - 4: ELEKTRİK TEKNOLOJİSİ

11. MAGNETİZMA VE STATİK ELEKTRİK 625
Giriş 625
Sürekli mıknatıs 627
Sürekli mıknatıslar ve pusula 627
Peter Peregrinus (XIII. yüzyıl) 628
Robert Norman (1550 - 1600) ve eğilme açısı 630
William Gilbert (1544 - 1603) ve *De Magnete* 631
Niccolo Cabeo (1586 - 1650) 634
Sürekli mıknatısların elde edilmesi 637
Magnetik çekim yasası 638
Statik elektrik 640

Sürtünme ile elektriklenme 640
Otto von Guericke (1602 - 1686) 641
Francis Hauksbee (1666 - 1713) 642
Jean Antoine Nollet (1700 - 1770) Gray (1666 644
Charles François du Fay (1698 - 1739) 646
Stephen Gray (1666 - 1736) ve elektriğin iletimi 647
Leyden Şişesi ve elektriğin depolanması 650
Elektroskop 654
Benjamin Franklin (1706 - 1790) ve paratoner 656
Coulomb yasası (1785) 658
Döner diskli statik elektrik makineleri 663

12. ELEKTRİK AKIMI VE ELEKTROMAGNETİZMA 667
Elektrik akımının bulunuşu 667
Luigi Galvani (1737 - 1798) ve hayvansal elektrik 667
Alessandro Volta (1745 - 1827) ve elektrik akımı 671
Elektrolizin bulunuşu 678
Humphry Davy (1778 - 1829) 679
Elektromagnetizma 682
Hans Christian Oersted (1777 - 1851) 682
Joseph Henry (1797 - 1878) ve elektromıknatıs 684
André-Marie Ampère (1775 - 1836) ve elektrodinamik 686
Michael Faraday (1791 - 1867) 690
Georg Simon Ohm (1787 - 1854) ve direnç 700

13. ELEKTRİK TEKNOLOJİSİ 703
Sınai piller 703
Kimyasal piller (sınai piller) 703
Volta pili (1800) 703
Daniell pili (1836) 705
Leclanché pili (1866) 707
Bunsen pili 710
Kurşunlu akümülatörler 711
Elektrot gerilimleri 715
Galvanoplasti (elektrolitik kaplama) 716
Elektrikli telgrafın gelişmesi 718
Mekanik telgraf sistemleri 718

Statik elektrikli telgraf 719
Elektrikli telgraf 720
Samuel Morse (1791 - 1872) 726
Denizaşırı ve kıtalar aşırı telgraf hatları 730
Telgrafın Türkiye'ye girişi 732
Telefon 733
Telsiz telgraf ve telefon 737
James Clerk Maxwell ve elektromagnetik teori 737
Heinrich Hertz ve elektromagnetik dalgalar 738
Edouard Branly ve radyokondüktör 739
Guglielmo Marconi ve telsiz telgraf 742
Telsiz telgrafın gerçek bulucusu kimdir? 747
Diyodlar 749
Elektrik akımının üretilmesi 751
İlk elektrik jeneratörleri 751
Gramme sargılı dinamolar 756
Alternatif akım 760
Alternatif akım 760
Elektrik santrallerinin kurulması 761
Silâhdarağa Elektrik Santrali 770
Elektrik motorları 772
Doğru akım motorları 772
Alternatif akım motorları 773
Elektrikli tramvay ve lokomotif 777
Yüksek frekanslı akımlar 780
Elektrikle aydınlatma 781
Sonuç 787

KISIM - 4: KAYNAKLAR 791

KİŞİ VE YER ADLARI DİZİNİ 795

KONU DİZİNİ 801

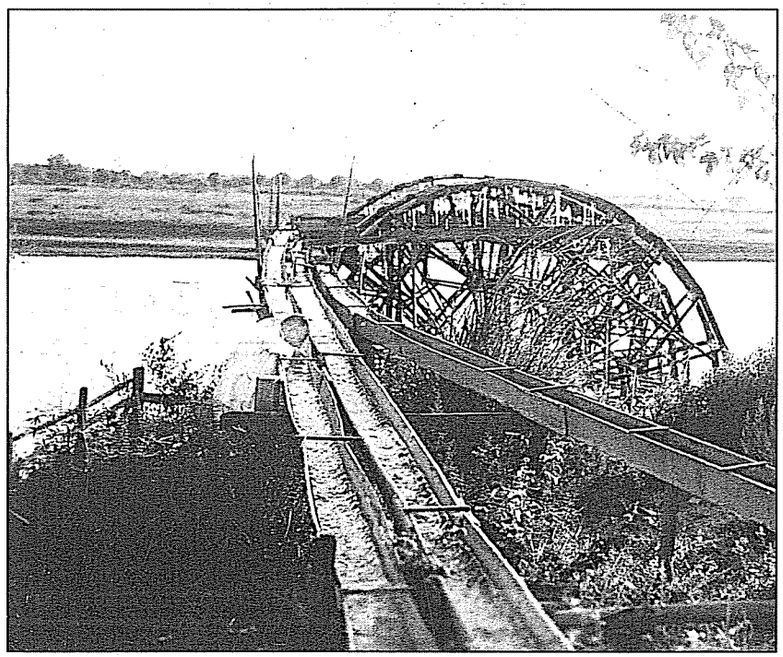
KISIM – 1

SU VE RÜZGÂR TEKNOLOJİSİ

BÖLÜM – 1: SUYUN İLETİLMESİ VE DAĞITILMASI BÖLÜM – 2: SUYUN YÜKSELTİLMESİ

BÖLÜM – 3: SU DEĞİRMENLERİ

BÖLÜM – 4: YEL DEĞİRMENLERİ



930'lu yıllarda Adana'da Seyhan Nehri üzerindeki noiralar.
[E. Dölen koleksiyonu]

BÖLÜM – 1

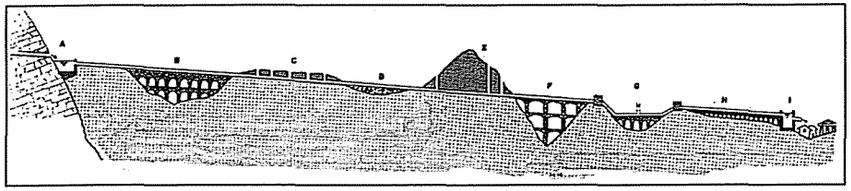
SUYUN İLETİLMESİ VE DAĞITILMASI

SUYUN İLETİLMESİNİN ÖNEMİ

Su insan yaşamında gerek içme ve kullanma ve gerekse tarım için en önemli maddelerden biridir. İnsanların yerleşik düzene geçmesi ve giderek büyüyen yerleşim yerlerinin ortaya çıkması ile birlikte içme ve kullanma suyunun ve tarım alanlarının sulanması için gerekli suyun sağlanması önemli bir sorun olmuştur. Genel olarak su kaynakları yerleşim yerlerinden uzakta olduğundan Eskiçağ'ın en önemli sorunlarından biri suyun çıktığı kaynaktan kullanılacağı yere iletilmesidir. Bunun sonucunda eski Mezopotamya uygarlıklarından itibaren kamusal yönetimler tarafından büyük su iletim şebekeleri kurulmaya başlanmıştır.[1] Su genellikle açık veya üstü kapalı bir kanal içinden veya basınca dayanıklı olmayan pişmiş topraktan yapılmış künkler yardımıyla iletilmiştir. Bunun sonucunda su yolunun suyun akışına olanak sağlayan bir eğimde ve doğrusal olması gerekir. Su yolları vadilerden su kemerleri yardımıyla geçirilmiş, buna karşılık dağ ve tepe engelleri tünel açılarak aşılmıştır. (Şekil – 1.1). Bunun yanında bazı kapalı havzaların suyunu boşaltmak için drenaj tünelleri de açılmıştır. Gerek su kemerleri ve gerekse tüneller yapı teknolojisinin gelişmesine önemli katkılarda bulunmuştur. Roma döneminde tüneller ile birlikte kemer teknolojisinin gelişiminin ardından su kemerleri yapılmaya başlanmış, çok büyük ve anıtsal nitelikte su şebekeleri inşa edilmiştir.

---

1 Emre Dölen, *Su Yapıları ve Değirmenler*, İ.T.Ü. Fen – Edebiyat Fakültesi, İstanbul 2006, s. 1.



Şekil – 1.1: Roma su iletim sistemleri: (A) Kaynak boşaltma kanalları ve biriktirme deposu; (B) Çok kemerli viyadük üzerinde açık kanal; (C) Düşük derinlikte çok sayıda baca içeren yer altı tüneli; (D) Toprak dolgu üzerinde kanal; (E) Genel olarak uçlarda az sayıda havalandırma bacası içeren derin yer altı tüneli; (F) Sürekli düşey sütunlar içeren viyadük; (G) Vitruvius'un tanımına göre ters sifon; (H) Son viyadük; (I) Toplama ve dağıtım deposu. [Parise *et.al.*, s. 2028].

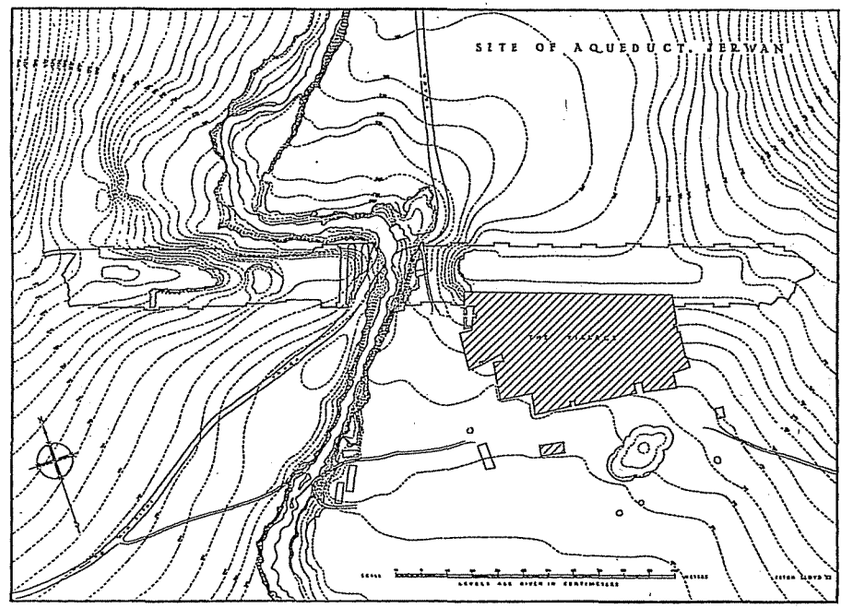
SU KEMERLERİ VE SU YOLLARI

Genel olarak basınca dayanıklı künk ve borular olmadığından su yollarının vadilerden geçirilmesi için derinlik az ise toprak dolgu ve derinlik fazla ise kemerli viyadükler yani su kemerleri yapılarak vadiler geçilmiş ve su bunların üzerindeki açık veya kapalı kanallardan iletilmiştir. Bir su uygarlığı olarak nitelendirilebilecek Roma döneminde tüm kentlere su sağlayan tesisler kurulmuş ve çoğunun kalıntısı günümüze kadar ulaşmış olan çok sayıda su kemeri inşa edilmiştir. Aşağıda örnek olarak bazı su kemerleri kısaca ele alınmıştır.

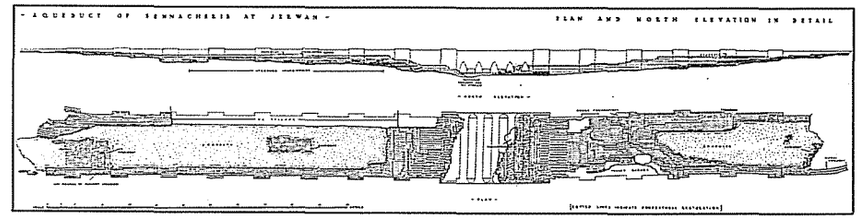
Jerwan su kemeri

Günümüzdeki Kuzey Irak'ın Dohuk bölgesinde bulunan bu su kemeri kalıntıları günümüze ulaşmış olan en eski su kemeridir.[2] M.Ö. 704 – 681 yılları arasında hüküm sürmüş olan Asur Kralı I. Sennacherib tarafından Ninova kentine su getirmek ve ayrı zamanda sulama işlerinde de kullanılmak üzere M.Ö. 700 – 690 yılları arasında inşa edilmiş olan yaklaşık 10 km boyundaki kanalın üzerindedir. Gerek kanal ve gerekse su kemeri kasme kireştaşı bloklardan yapılmıştır. Kanalın eni 22 m ve derinliği de 2 m dolayındadır. (Şekil – 1.2 – 1.8).

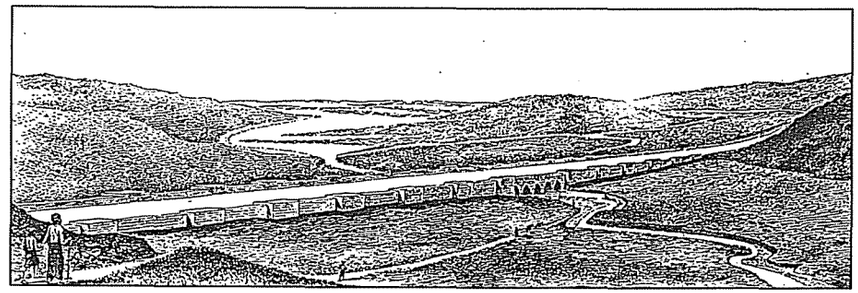
2 Thorkild Jacobsen ve Seton Lloyd, *Sennacherib's Aqueduct at Jerwan*, The University of Chicago Pres, Chicago 1935.



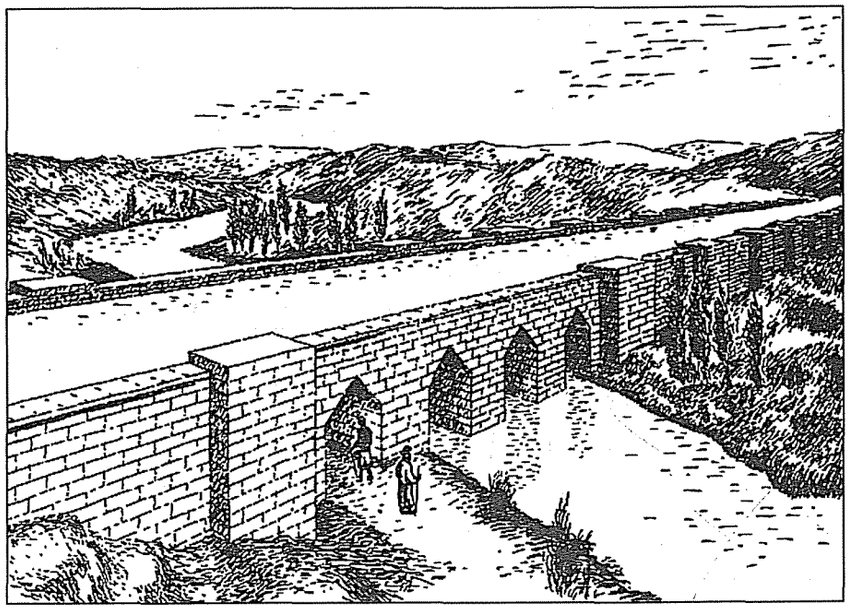
Şekil – 1.2: Jerwan su kemerinin bulunduğu bölgenin haritası. Taralı alan küçük bir köy şeklindeki yerleşim yeridir. [Jacobsen ve Lloyd, s. 7]



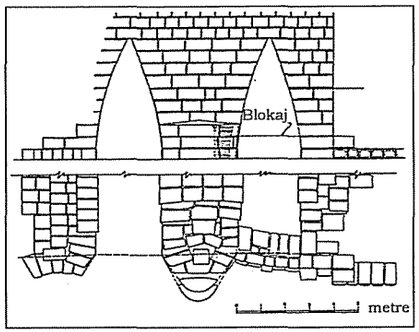
Şekil – 1.3: Jerwan su kemerinin planı ve günümüzde mevcut olan kısımları. [Jacobsen ve Lloyd, s. 8].



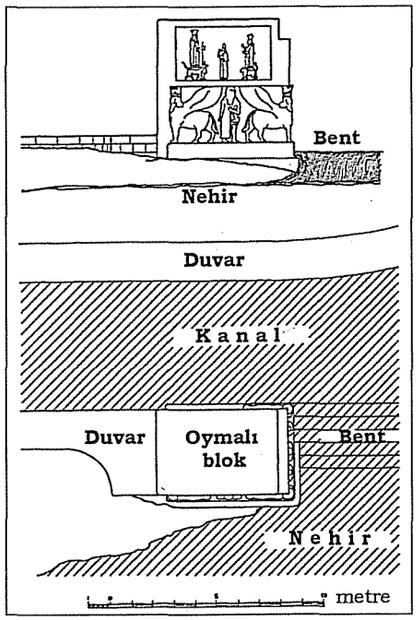
Şekil – 1.4: Jerwan su kemerinin geçmişteki görünümünün tasarımı. [Jacobsen ve Lloyd, s. 17].



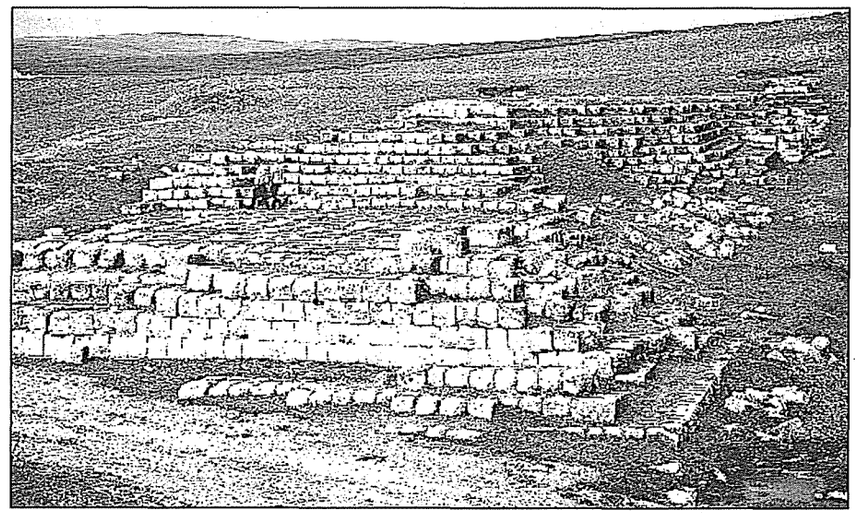
Şekil – 1.5: Jerwan su kemerinin geçmişteki görünümünün tasarımı.



Şekil – 1.6: Jerwan su kemerinin ayrıntıları. [Jacobsen ve Lloyd, s. 11]. (Üstte).



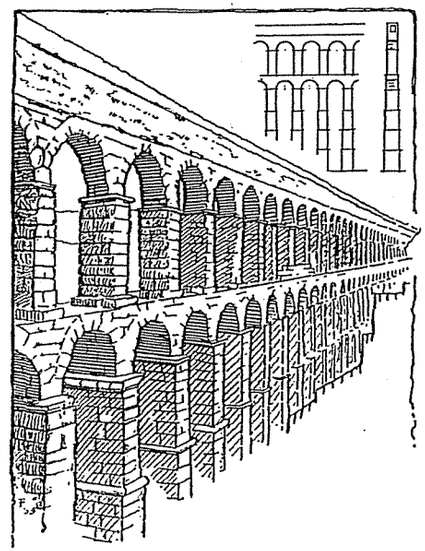
Şekil – 1.7: Kanalın başında suyun nehirden alındığı yer ve buradaki anıtsal blok. [Jacobsen ve Lloyd, s. 48]. (Sağda).



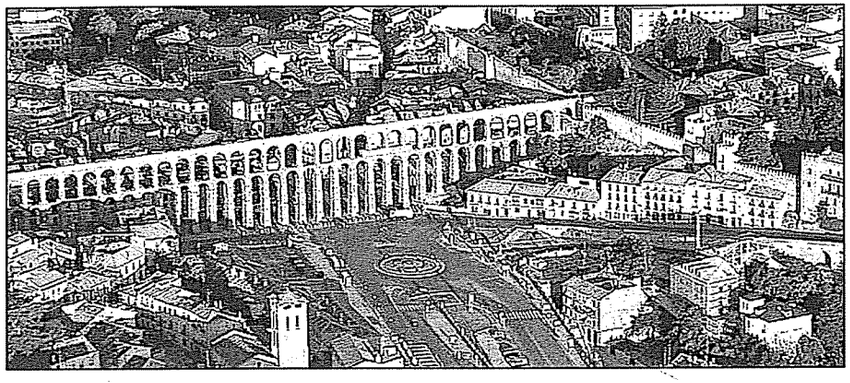
Şekil – 1.8: Jerwan su kemerinden günümüza kalan kalıntılar.

Segovia su kemeri

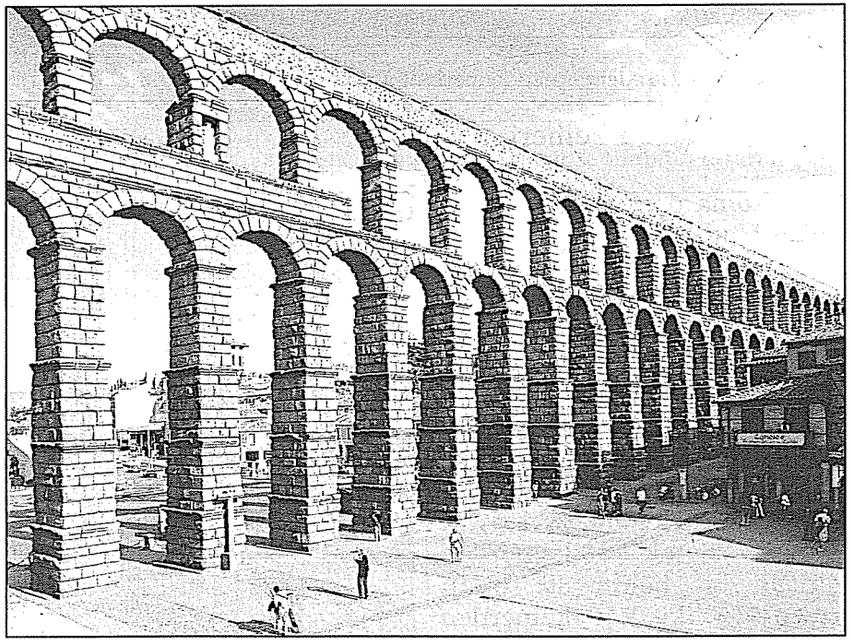
Roma döneminde İspanya'da Madrit'e 85 km uzalıkta bulunan Segovia kentine Guadarrama Dağları'ndan su getirmek için yapılan 15 km boyundaki tesisin en büyük su kemeridir. Suyun kente girişini sağlayan kemer M.S. 100 dolaylarında yapılmıştır. Kemerin toplam uzunluğu 728 m olup eğimi % 1,6'dır. Kemer, 75 tek kat kemerden oluşan bir bölüm ile bunu izyen 44 iki kat kemerden oluşan ikinci bir bölümü içerir. Maksimum yüksekliği 28,5 m olup sütunların boyutu temelde 3x2,4 m ve üstte 2,5x1,8 m dir. (Şekil – 1.9, 1.10 ve 1.11).



Şekil – 1.9: Segovia su kemeri. [Finch, s. 71].



Şekil – 1.10: Segovia kentinin ve kentin içindeki su kemerinin genel görünümü.



Şekil – 1.11: Segovia su kemerinin yakından görünüşü.

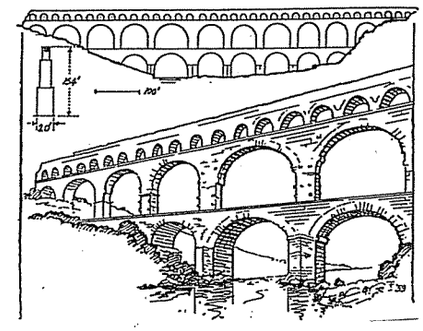
Pont du Gard su kemeri

Fransa'da Nimes (Nemausus) kentine su getirmek için Roma döneminde M.S. 40 – 60 yıllarında 50 km uzunluğunda bir su şebekesi yapılmıştır. Sistemin eğimi 34 cm/km olup toplam 17 m lik bir düşüşe karşılıktır. Sistem üzerinde çok sayıda su kemeri olmakla birlikte bunların en büyük ve anıtsal olanı Gardon Nehri vadisi üzerindeki üç katlı ve toplam yüksekliği 48,6 m olan kemerdir. Günlük kapasitesi 40.000 m³ dolayındadır. XVIII. yüzyılda kemere bitişik olarak bir yol köprüsü inşa edilmiştir. (Şekil – 1.12 — 1.19). Pont de Gard su kemerinin ölçüleri (Çizelge – 1.1)'de verilmiştir.

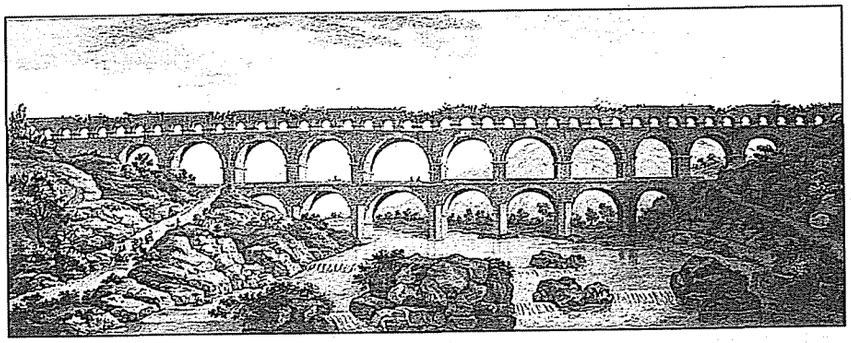
ÇİZELGE – 1.1
Pont du Gard su kemerinin ölçüleri

Bölüm	Uzunluk (m)	Kemer sayısı	Kemer yüksekliği (m)	Duvar kalınlığı (m)
Alt sıra	142	6	22	6
Orta sıra	242	11	20	4
Üst sıra	275	35	7	3

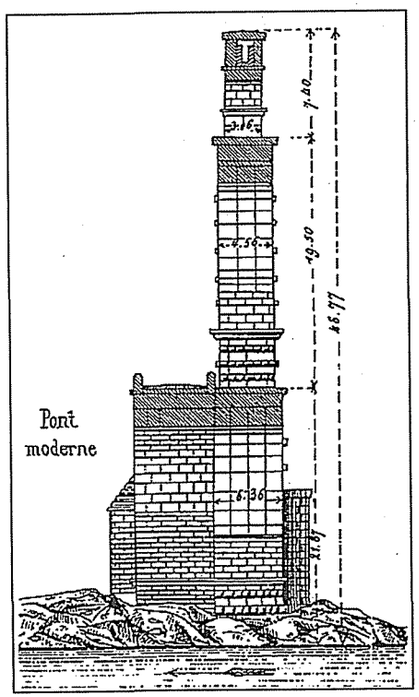
Şekil – 1.12: Fransa'da Nimes kentina su getiren su tesisi ve Pont du Gard su kemerinin bulunduğu yer.



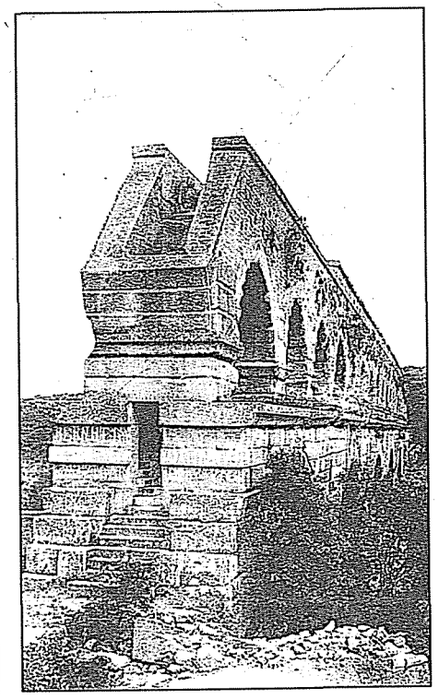
Şekil – 1.13: Fransa'da Nimes kenti yakınında bulunan Pont du Gard su kemeri. [Finch, s. 60].



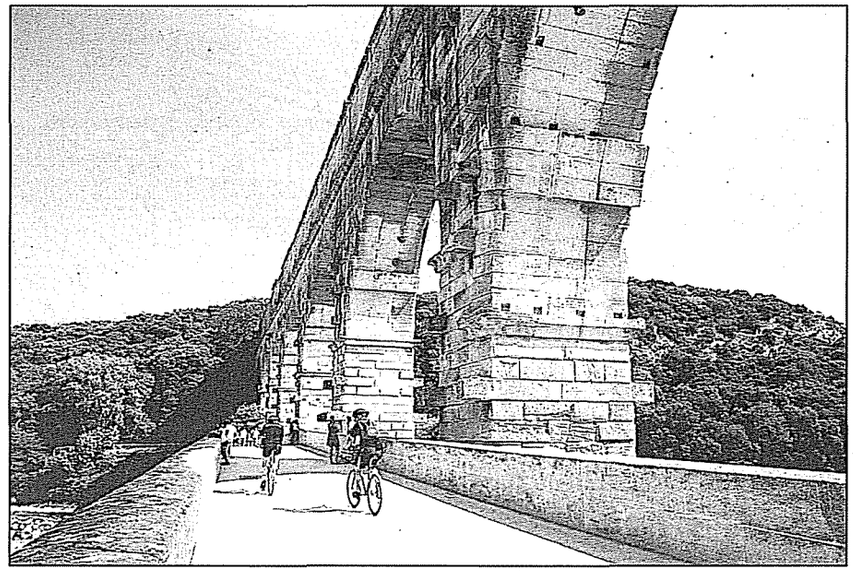
Şekil – 1.14: Fransa'da Nimes kenti yakınında bulunan Pont du Gard su kemerinin eski bir gravürü.



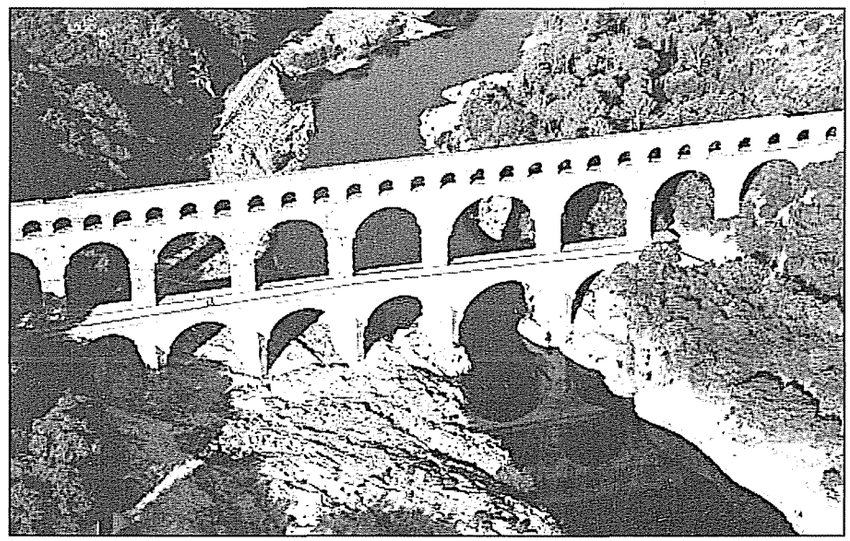
Şekil – 1.15: Fransa'da Nimes yakınında bulunan Pont du Gard su kemerinin kesiti. Solda XVIII. yüzyılda kemere bitişik olarak yapılmış olan köprü görülmektedir.



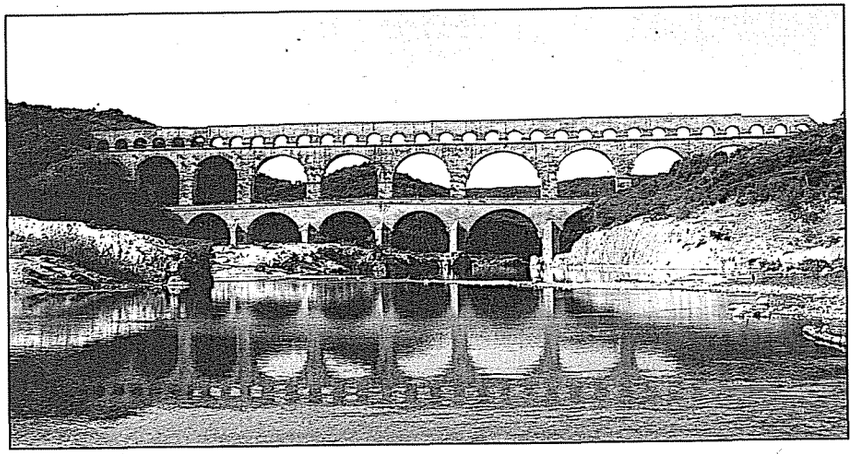
Şekil – 1.16: Pont du Gard su kemerinin yıkılmış olan batı ucu ve ziyaretçilerin kemerin üzerine çıkabilmesi için 1891'de yapılmış olan merdivenler.



Şekil – 1.17: Pont du Gard su kemerine bitişik olarak yapılmış olan köprünün görünümü,.

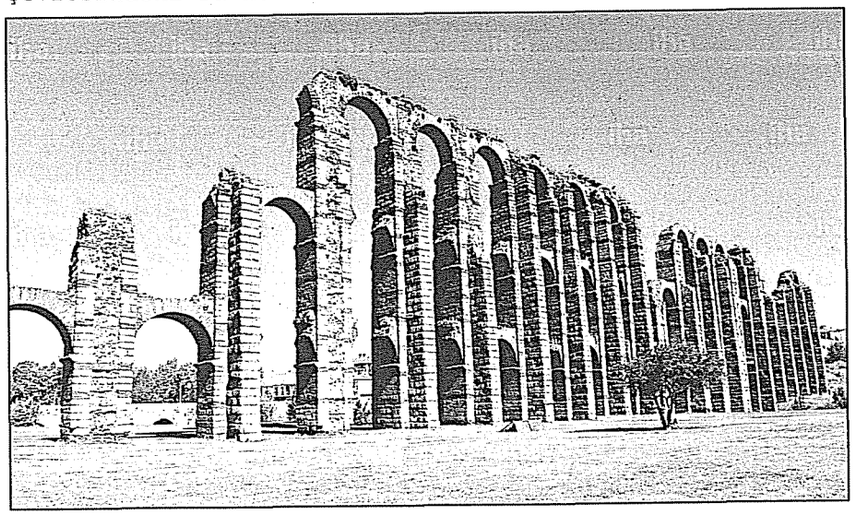


Şekil – 1.18: Pont du Gard su kemerinin havadan görünümü.

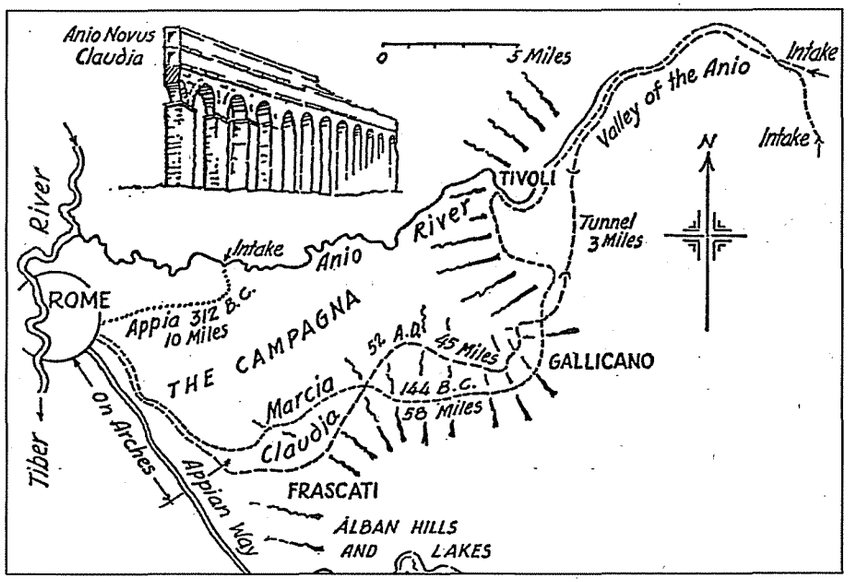


Şekil – 1.19: Pont du Gard su kemerinin nehirden görünümü.

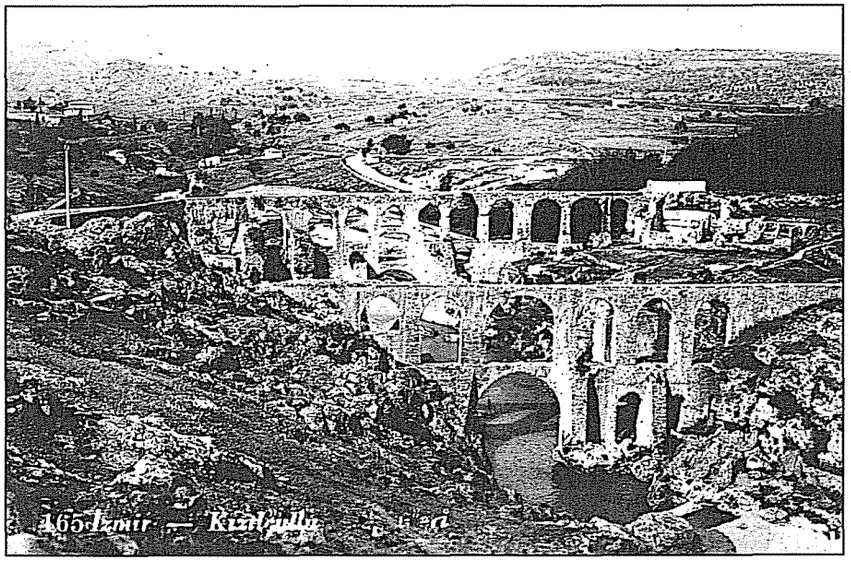
Roma dönemi su kemerlerine değişik örnekler olarak İspanya'da Merida kentine su getiren kemer, Roma kenti çevresindeki su kemerleri ve İzmir'e su



Şekil – 1.20: Roma döneminde İber Yarımadası'nın yönetim merkezi olan İspanya'nın Merida kentinde bulunan su kemeri.



Şekil – 1.21: Roma kenti çevresindeki su kemerleri. [Finch, s. 48].



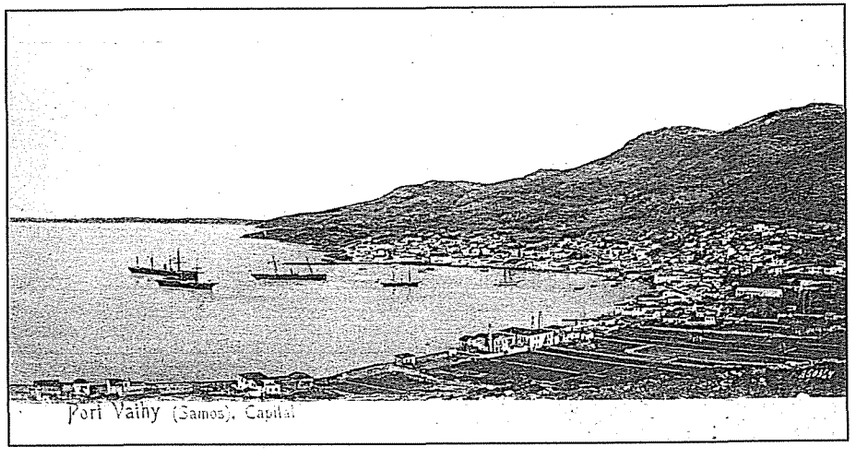
Şekil – 1.22: İzmir'e su getiren Roma dönemine ilişkin su kemerleri.

SU İLETİM VE DRENAJ TÜNELLERİ

Samos Adası su tüneli[3]

Eskiçağ'ın su yapıları içinde en önemlilerinden biri çağının bir mühendislik anıtı niteliğinde olan Samos (Sisam) Adası'ndaki su tünelidir. (Şekil – 1.23). Bu tünel Samos kentine içme ve kullanma suyu getirilmesinde engel oluşturan bir dağın aşılması için açılmıştır. Eskiçağ'ın ünlü tarihçisi Herodotos (İ.Ö. 490 – 425) bu tüneli o çağların en büyük eserlerinden biri sayar ve Samos Adası'ndaki eserleri anlatırken şunları yazar:

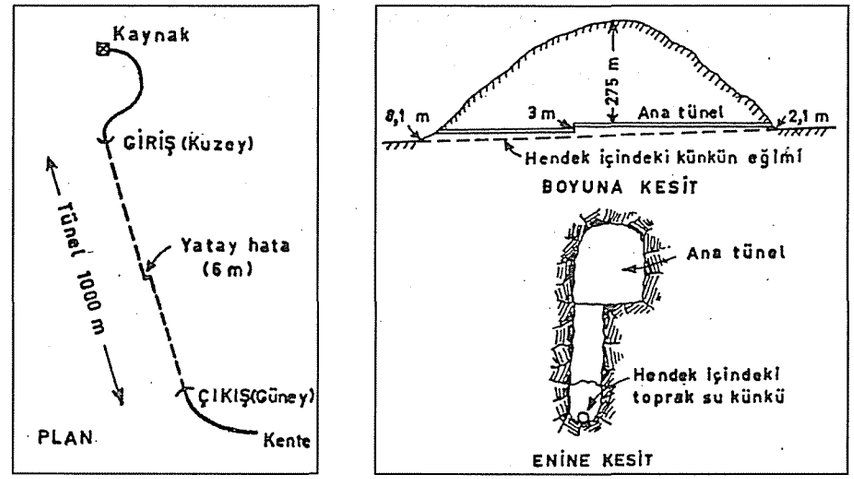
> "En başta, yüz elli kulaç (266,4 m) yüksekliğindeki bir dağda açılan tünel gelir; dağın dibinde bir ağızdan girer, dağı deler, öbür yandaki ağzından çıkar. Yedi stad (1243,2 m) uzunluğundadır, genişliği ve yüksekliği sekizer ayaktır (2,368 m). Bu yol boyunca üç ayak (0.888 m) genişliğinde ve yirmi dirsek (8.88 m) derinliğinde ikinci bir kazılmış yer daha vardır; bu da su yoludur, pek gür bir kaynaktan çıkan su, borularla bu yoldan kente indirilir."



Şekil – 1.23: Samos Adası'nın merkezi olan Vathy limanının XIX. yüzyıl sonundaki durumunu gösteren bir kartpostal.

3 Emre Dölen "Samos adası ve ünlü su tüneli", *Doğa ve Bilim*, Sayı 13 (Şubat 1983), s. 35 – 47; James Kip Finch, *The Story of Engineering*, New York 1960, s. 25 – 28; Hermann J. Kienast, *The Aqueduct of Eupalinos on Samos*, Ministry of Culture Archaeological Receipts Fund, Athens 2005.

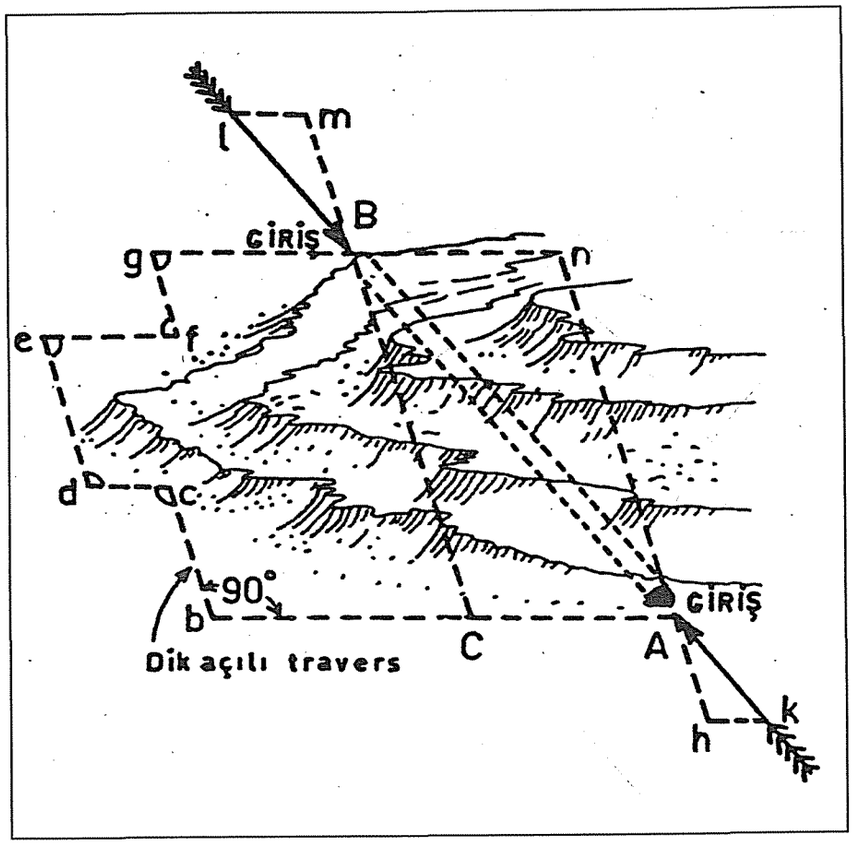
Samos adasının yönetimini İ.Ö. 532 – 522 yılları arasında elinde tutan Polykrates bu tünelin yapımı için Megara'lı Eupalinos'u adaya çağırarak görevlendirir. Herodotos, Eupalinos'u *architekton* (mimar) olarak nitelendirir ve bu niteleme bu unvanın en eski kullanılışıdır. İ.Ö. 530 yılı dolaylarında tamamlanan 1000 m uzunluğundaki bu tünelin kazılmasına dağın iki yanından başlanılmıştır. Dağın iki yanından dönemin zahmetli kazı yöntemleri yani el keskisi ve çekiç kullanılarak katı kireçtaşı kütleleri içinde açılmaya başlanan tüneller başarıyla kazılarak dağın ortasında 6 m yatay ve 3 m düşey hata ile karşılaşmış ve bu hatanın giderilebilmesi için bir yan kanal açılması gerekmiştir. (Şekil – 1.24).



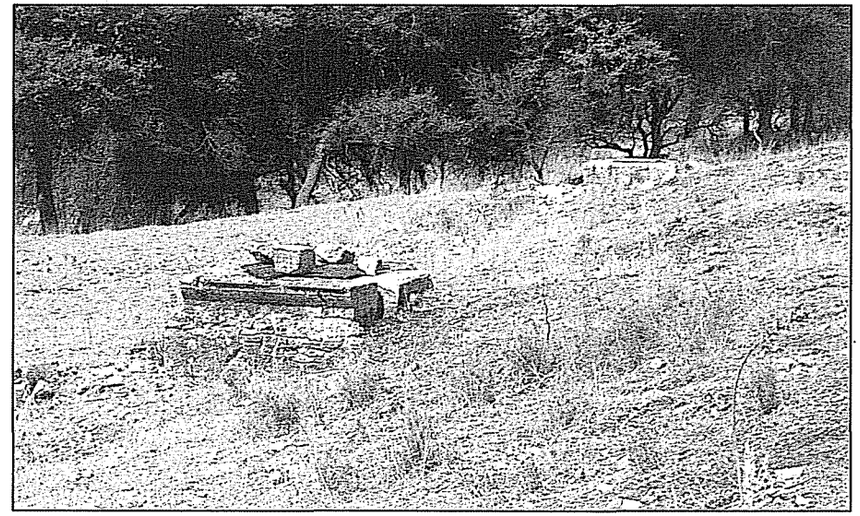
Şekil – 1.24: Samos Adası'nda İ.Ö. 530 yılı dolaylarında tamamlanan Eupalinos'un su tünelinin planı ve kesiti. Ölçüler ve hatalar metre cinsinden verilmiştir. [Finch, s. 26].

Dönemin bilgi düzeyi ve teknik olanakları göz önüne alındığında bu hata son derece küçüktür ve Eupalinos'un cesaret ve hünerini ortaya koymaktadır. Tünel kazılırken, aynı dönemdeki yer altı maden işletmelerinde kazanılan deneyimden de yararlanıldığı kuşkusuzdur. Tünel içinin havalandırılması sorunu maden ocaklarında olduğu gibi düşey

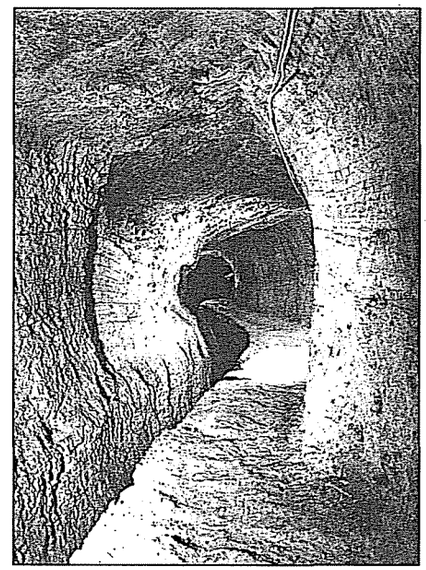
doğrultuda küçük havalandırma bacaları açılarak çözülmüştür. (Şekil – 1.25, 1.26, 1.27 ve 1.28).



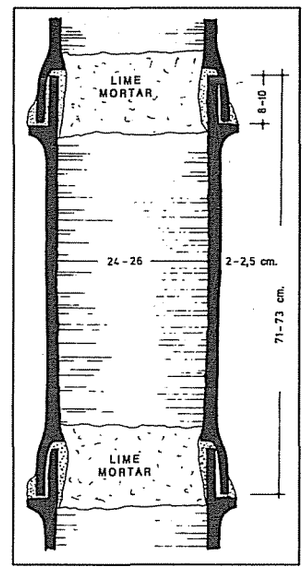
Şekil – 1.25: İskenderiye'li Heron'un verdiği bilgilere göre Samos Tüneli için gerekli ölçümlerin yapılışı. Tünelin dağın her iki yanındaki ***A*** ve ***B*** girişleri arasında bunları birbirine bağlayacak biçimde, dağın çevresinde uygun yerlenden zemini izleyerek dik açı ölçümleri yardımıyla Pythagoras bağıntısından tünel uzunluğu olan ***AB*** hesaplanmıştır. Girişlerin yaptığı yatay açılar ise ***Bn*** ve ***An*** uzunluklarının oranları yardımıyla dıştaki ***Ahk*** ve ***Blm*** benzer dik üçgenlerinden bulunarak kazma doğrultusu saptanmıştır. [Finch, s.27 ve Santillana, s. 25].



Şekil – 1.26: Tünelin havalandırma bacalarından ikisinin ağızlarının görünümü. [Kienast, s. 25].



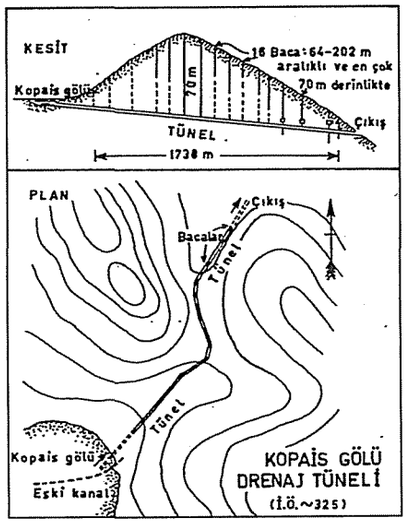
Şekil – 1.27: Güney ve kuzey tünellerinin birleşme yerinden bir görünüm. [Kienast, s. 42].



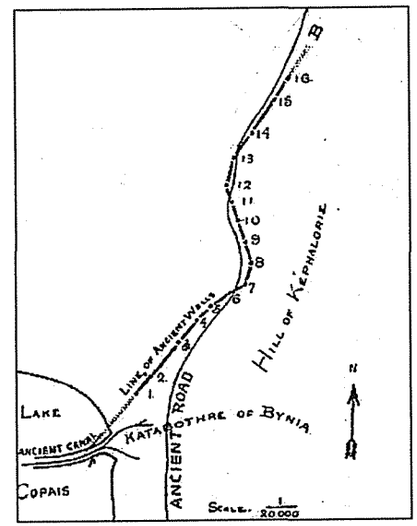
Şekil – 1.28: Tünel içinde su iletiminde kullanılan ve iç çapı 24 – 26 cm olan toprak künk. [Kienast, s. 32]

Kopais Gölü drenaj tüneli[4]

Atina'nın yaklaşık 65 km kuzeydoğusunda bulunan Kopais Gölü, çevresinde verimli tarım arazileri bulunan kapalı bir havzadır. Havzanın suyunun fazlası kalkerli arazide oluşan bazı obruklar yoluyla kısmen boşalmakla birlikte zaman zaman bunlar yetersiz kalmakta ve tıkanmaktadır. Büyük İskender döneminde İ.Ö. 325 yılı dolaylarında bu sorunun çözümü ve gölün boşaltılması için gölden denize bir drenaj tüneli açılmasına karar verilmiştir. Tünelin açılmasına önceleri ***metalleutes*** (madenci) ve daha sonra İskenderiye'nin su sistemi için açtığı tünel nedeniyle *taphrorychos* (tünel mühendisi) olarak anılan Chalcis'li Krates tarafından başlanmıştır. (Şekil – 1.29, 1.30 ve 1.31).

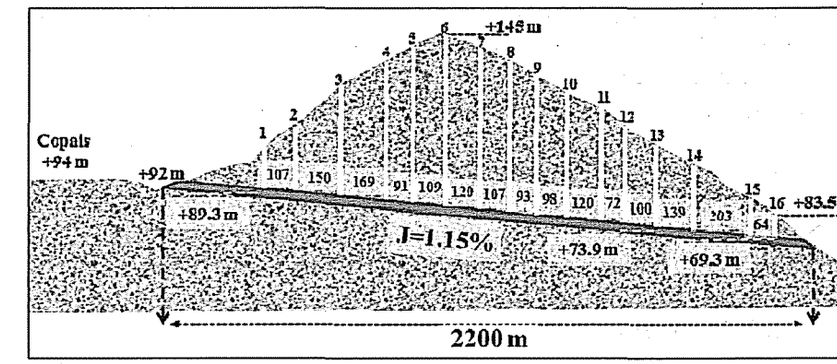


Şekil – 1.29: Yunanistan'daki Kopais Gölü drenaj tünelinin plan ve kesiti. [Finch, s. 34].



Şekil – 1.30: Kopais Gölü tünelinin planı ve havalandırma bacaları. [Champlin, s. 4].

4 John Denison Champlin, "Prehistoric engineering at Lake Copais", *Popular Science Monthly*, 48 (12), (Aralık 1895); N. Mamassis, S. Moustakas ve N. Zarkadoulas, "Representing the operation of ancient reclamation works at Lake Copais in Greece", https://www.Researchgate.net/publications/273640660.



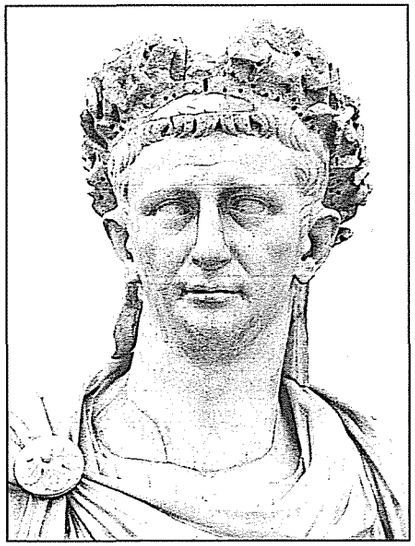
Şekil – 1.31: Kopais Gölü drenaj tünelinin kesiti ve havalandırma bacaları. [Mamassis, Moustakas ve Zarkadoulas, s. 11].

Tünelin ancak beşte birlik kısmı açılabilmiş ve tamamlanamadan kalmıştır. Kopais Gölü'nün boşaltılması ancak XIX. yüzyılın sonlarına doğru gerçekleştirilmiştir. Tünelin planlanan uzunluğu 2,2 km olup eğimi % 1,15, genişliği 1,45 m ve yüksekliği 1,55 m dir. Bu kesite göre su boşaltma kapasitesi 7 m^3/s dolayındadır. Samos tüneli gibi doğrusal olmayan Kopais tüneli için iki uçtan kazmaya başlama olanağı yoktu. Krates tüneli dağların en alçak yerlerini izleyerek geçirmiş ve böylece daha kısa ve dolayısıyla daha ekonomik havalandırma bacaları açma yoluna giderek havalandırma bacaları ile tünel arasında ekonomik denge sağlamıştır. Toplam uzunluğu 650 m olan 16 tane düşey havalandırma bacası kazılmaya başlanmış olmakla birlikte bunlar tamamlanmamıştır. Tünelin beşte birini oluşturan 400 m lik kısmı kazılmış ve sert bir kayaya rastlanıldığı yerde kazı bırakılmıştır.

Fucinus Gölü drenaj tüneli

İtalya'da Roma'nın 100 km doğusunda bulunan Fucinus Gölü kapalı bir havza olduğundan mevsimsel olarak su düzeyinde yükselmeler meydana gelmekte ve çevresindeki verimli tarım arazileri ile burada yaşayanlar için tehlike yaratmaktadır. Bu sorunun çözümü için bir drenaj tüneli açılarak gölün suyunun Liris Nehri'ne akıtılması düşünül-

müştür.[5] İmparator Claudius (M.Ö. 10 – M.S. 54) (Şekil – 1.32) döneminde (M.S. 41 – 54) 30.000 kişinin 11 yıllık çalış-ması sonucunda bu tünel kazılarak tamamlanmıştır. Tünelin boyu 6.000 m, eğimi % 0,15, kesiti 5 m² ve su tahliye kapasitesi 10 m³/s dir. Bu tünel gölün suyunun düzeyini kontrol etmek için gereken tahliye kapasitesinin beşte birine sahiptir. Tünel Salviano Dağı'nın ve Palentine platosunun altından geçmektedir. Toplam uzunluğunun dörtte üçü kireç taşı içinden geçen tünel için en uzunu 100 m olan dikey ve eğik konumlarda 33 tane havalandırma bacası açılmıştır. (Şekil – 1.34, 1.35 ve 1.36).

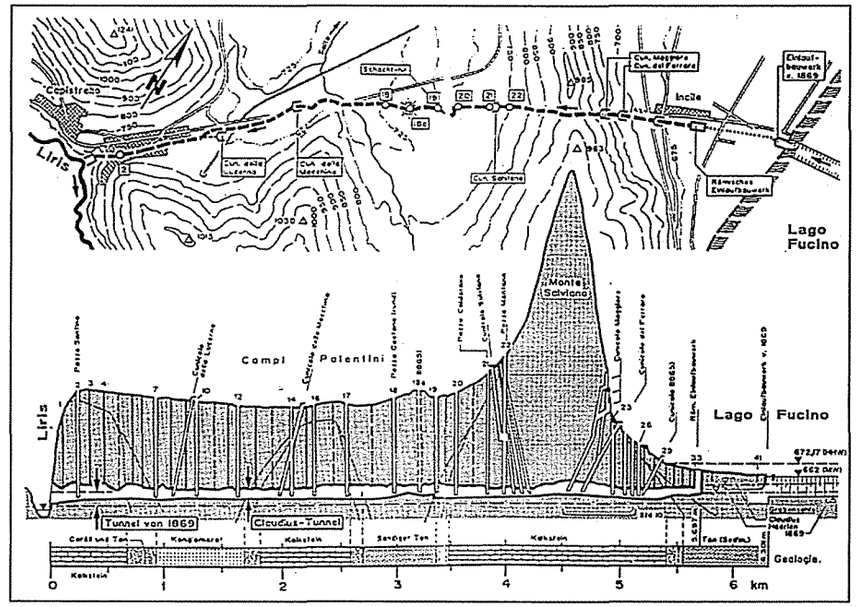


Şekil – 1.32: Roma İmparatoru Claudius (M.Ö. 10 – M.S. 54).

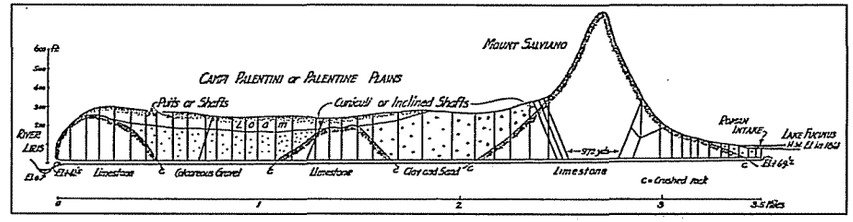
Şekil – 1.33: Roma İmparatoru Hadrianus (M.S. 76 – 138).

5 James Kip Finch, *The Story of Engineering*, New York 1960; M. Döring, "Der emissar des sees von Fucino", SdFG, Vol 19 (1995); Mario Parise, Roberto Bixio, Ezio Burri, Vittoria Caloi, Sossio Del Prete, Carla Galeazzi, Carlo Germani, Paolo Guglia, Marco Meneghini ve Mariangella Sammarco, "The map of ancient underground aqueducts: A nationwide project by the Italian Speleological Society", *15th International Congress of Speleology Proceedings*, Vol 3, 2009, s. 2027 – 2031; Dermot O'Dwyer, "The drainage of the Fucine Lake in Antiquity and in the Nineteenth Century", *Studies in the History of Services and Costruction*, The Construction History Society, 2018, s. 157 – 170.

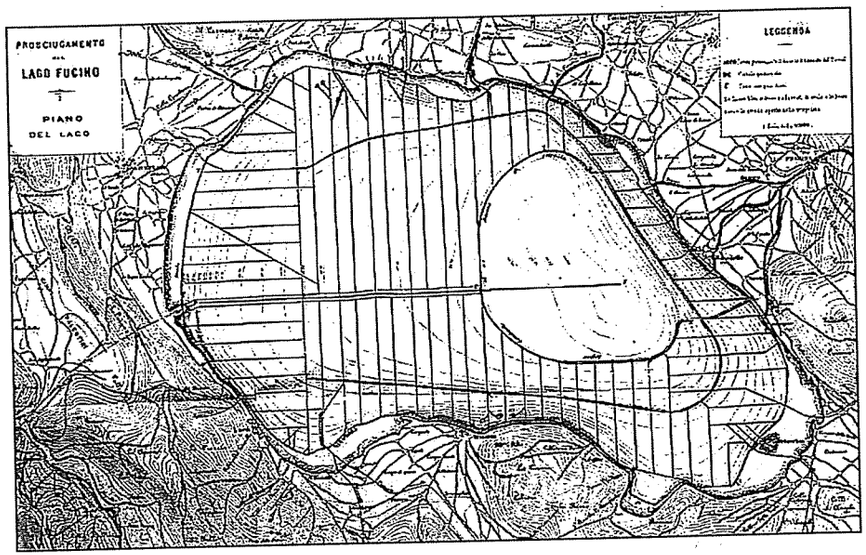
Daha sonra İmparator Hadrianus (M.S. 76 – 138) (Şekil – 1.33) döneminde (M.S. 117 – 138) tünel genişletilerek derinleştirilmiştir. Claudius döneminde gölün düzeyi 4 m düşerek alanı 140 km² den 90 km² ye ve Hadrianus dönemindeki iyileştirmelerin sonucunda da 57 km² ye inmiştir. Göl 1854 – 1876 yılları arasında eski tünelin derinleştirilmesiyle açılan Prens Torlonia tüneli ile Liris Nehri'ne boşaltılarak kurutulmuştur. Ancak bu tünelin açılışı sırasında eski tünel bütünüyle tahrip olmuştur.



Şekil – 1.34: Fucinus Gölü drenaj tünelinin planı ve kesiti. Kesitte XIX. yüzyılda açılan tünelin dip düzeyi de işaretlenmiştir. [Döring].



Şekil – 1.35: Fucinus Gölü drenaj tünelinin kesiti ve jeolojik yapı. Beyaz kısımlar kireç taşı, seyrek noktalı kısımlar kil ve kum, sık noktalı kısımlar kalkerli çakıl ve Palentine platosunun üzerinde gevşek toprak. [Finch, s. 65].

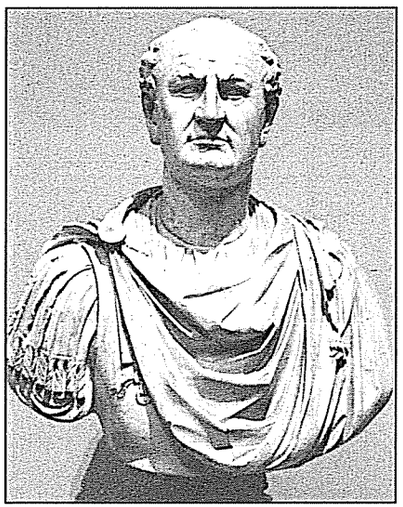


Şekil – 1.36: Fucinus Gölü'nün kurutulması ile kazanılan tarım alanları.

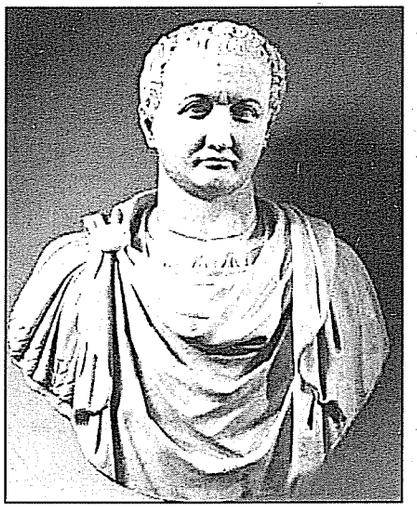
Seleucie drenaj sistemi[6]

Antakya'nın Samandağ ilçesi yakınlarında ve Asi Nehri'nin deltasının kuzeyinde bulunan Seleucie di Pieria kenti M.Ö. 300'de kuruldu ve kısa sürede önemli bir liman kenti haline geldi. Kentin içinden geçerek iç limana akan derenin iç limanı doldurmaya başlaması üzerine bunu engellemek için derenin yatağı değiştirilerek suyun kent dışında Akdeniz'e akması sağlanmıştır. Bunun için kapsamlı bir drenaj sistemi yapılmıştır. Bu sistemin inşaatına Roma İmparatoru Vespasianus (M.S. 9 – 79) (Şekil – 1.37) döneminde (M.S. 69 – 79) M.S. 69 yılında başlanmış, on yıl sonra oğlu İmparator Titus (M.S. 39 – 81) (Şekil – 1.38) döneminde (M.S. 79 – 81) M.S. 81 yılında tamamlanmıştır.

6 Temuçin Aygen, "2000 yıllık bir mühendislik şaheseri Vespasiyanüs – Titüs barajı", *İlgi*, Yıl 19/Sayı 43 (Kasım 1985), s. 7 – 10; Yeliz Göğebakan ve Duygu Saban, "Dünya miras listesi ve Vespasianus – Titus Tüneli – Süreç üzerine bir değerlendirme", *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 11 (55), 333 – 344 (2018); Ünal Öziş, "Dörtbin yıl boyunca Türkiye'de su yapıları", *Türkiye Mühendislik Haberleri*, Sayı 419, 17 – 28 (2002).



Şekil – 1.37: Roma İmparatoru Vespasianus (M.S. 9 – 79).

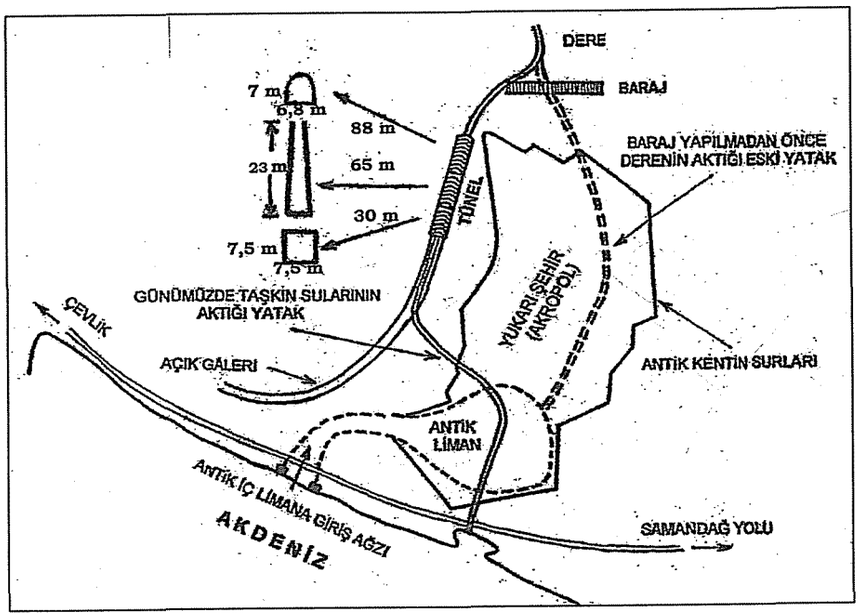


Şekil – 1.38: Roma İmparatoru Titus (M.S. 39 – 81).

Suyu tutmak için dere yatağı düzgün kalker bloklardan yapılmış 4,5 m yüksekliğinde ve 80,5 m boyunda bir baraj ile kapatılmıştır.[7] Barajdan açık bir kanalla çıkan su 130 m sonra kayaya oyulmuş tünellere girer. Bütünüyle kaya içine oyulmuş olan bu su yolunun ilk 50 m lik bölümü 6,5 m eninde ve üstü yarı açık bir yarmadır ve kenar yüksekliği 40 m ye yaklaşır. Bunu eni 6,8 m ve yüksekliği 7 m olan kemerli 88 m boyunda kapalı bir tünel izler. Bunun ardından gelen 65 m lik bölüm 6,6 m genişliğinde, kenarları 23 m yüksekliğinde gün ışığına yükselen ve yukarı doğru hafifçe daralan açık bir kanaldır. Son 30 m lik bölüm 7,5x7,5 m kare kesitli kapalı bir tünel ve bunu izleyen 50 m uzunluğunda açık bir yarmadır. Buradan çıkan su kenarları bazı yerlerde yüksek olan açık bir kanal ile kentin uzağında Akdeniz'e ulaşır. Tünel çıkışından 57 m sonra kanal üzerinde 60 cm eninde beşik kemerli tek sıra kesme taş örgülü bir köprü bulunmaktadır. (Şekil – 1.39, 1.40, 1.41 ve 1.42).

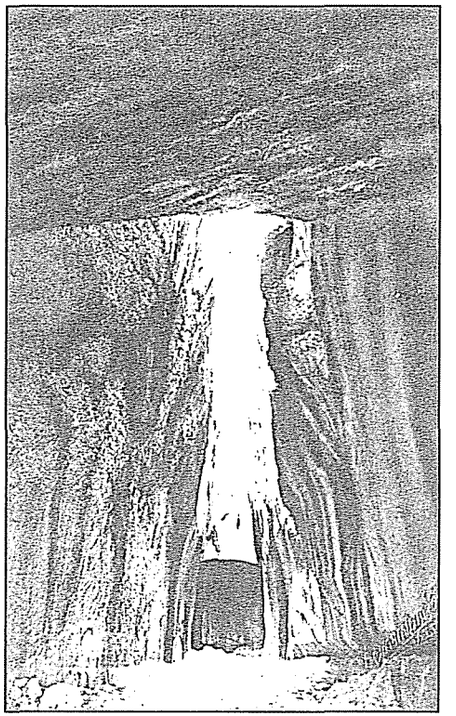
7 Tüneller için verilen ölçüler çeşitli kaynaklarda önemli farklılıklar göstermektedir.

Drenaj sistemi toplam olarak yaklaşık bir km uzunluğundadır. Tünelden çıktıktan sonraki kanal üzerinde yan çıkışların bulunması bu kanalın sulama amaçlı olarak da kullanılmış olduğunu göstermektedir.



Şekil – 1.39: Seleucie di Pieria kenti 1le Vespasianus – Titus tünel ve galerisini gösteren kroki. [Aygen, s. 8].

Şekil – 1.40: Tünel duvarına kazınmış Vespasianus ve Titus'un adları.



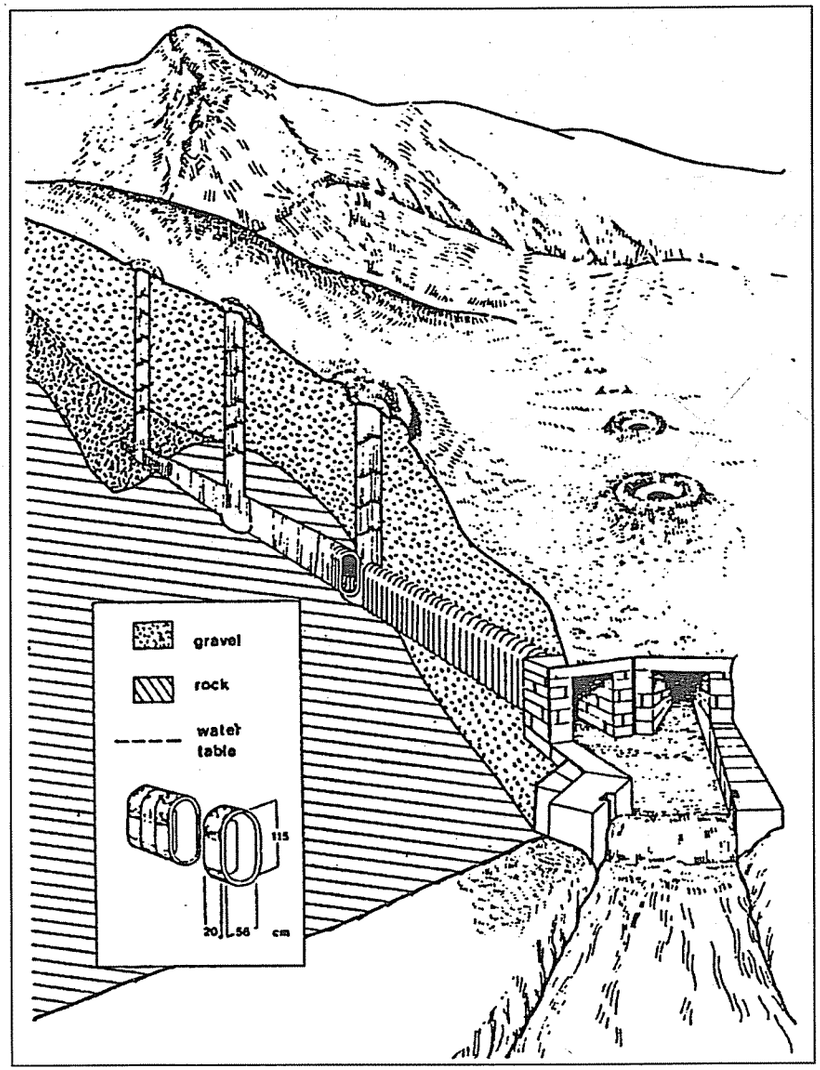
Şekil – 1.41: Tünelin kare kesitli bölümünün girişi.

Şekil – 1.42: Tünelin tavanı kemerli bölümünün girişi. [Öziş, s. 19].

Kanat tünelleri

Kanat tünelleri su kıtlığı bulunan yerlerde ve özellikle Orta Asya'da kullanılmış olan bir su toplama sistemidir. Bu sistemlerin önemli bir bölümü günümüzde de kullanılmaktadır. Dağlardan inen ve alt eğimlerdeki kumlu ve çakıllı katmanlardan süzülerek yer altına geçen yağmur suları önlerinde kaya engeli olan yerlerde birikir. Bu birikim bölgeleri açılan sondaj kuyuları ile saptandıktan sonra su yer altında açılan tüneller sistemi ile toplanarak ve yerin eğiminden yararlanılarak yer yüzüne çıkartılır. Tüneller açılırken bunların geçirgen katmanlar içinde kalan bölümleri su kaybını önlemek için pişmiş topraktan yapılmış büyük halkalarla kaplanır. Tünelin kaya içinden geçen bölümleri için buna

gerek yoktur. Tünellerin üzerinde havalandırma bacaları bulunur ve arazi üzerinde bu bacalar izlenerek tüneller sistemi açıkça gözlenebilir. (Şekil – 1.43).



Şekil – 1.43: Kanat tünelleri sistemi. Şekilde yatay çizgilerle taranmış olan bölgeler kayaları ve noktalarla taranmış olan bölgeler de suyu geçiren katmanları göstermektedir. Sık noktalarla taranmış bölge önündeki kaya engeli nedeniyle yağmur sularının biriktiği geçirgen katmandır. [Pacey, s. 87].

BARAJLAR

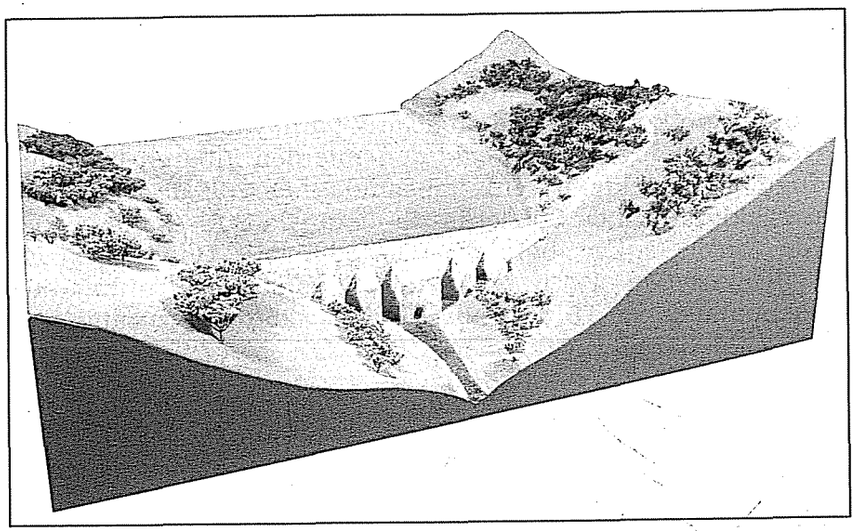
Sulama amacıyla su biriktirmek veya belirli alanları taşkınlardan korumak gibi amaçlarla baraj yapımının öncelikle Asya ve Uzakdoğu'da çok eski dönemlerden itibaren başlamış olduğu görülmektedir. Bu kapsamda İ.Ö. 430'da Seylan'da Basawakkulam, İ.Ö. 300'lerde Hindistan'da Sudarsana ve İ.Ö. 24'de Çin'de Gukow barajları inşa edilmiştir. Japonya'da ise İ.S. II. yüzyılda 17 m yükseklik ve 260 m uzunluğunda Kaerumataika ve 15 m yükseklik ve 3255 m uzunluğunda Sayamaike barajları yapılmıştır.

Akdeniz çevresinde ise İ.S. I. yüzylın başlarında Necef'de 14 m üyksekliğinde kaya dolgu Petra ve Karnub barajları ile 40 m yüksekliğnde Subiaco barajlarının ardından Roma döneminde çok sayıda baraj inşa edilmiştir. Bu barajların bir bölümü sulama amaçlı, bir bölümü kentleri su taşkınlarından korumak için ve bir bölümü de kentlere içme ve kullanma suyu sağlayan sistemlerin birer parçası olarak inşa edilmişlerdir. Roma dönemine ilişkin olup tümü İ.S. I. ve IV. yüzyıllar arasında inşa edilmiş olan barajların yükseklik ve uzunlukları (Çizelge – 1.2)'de verilmiştir.

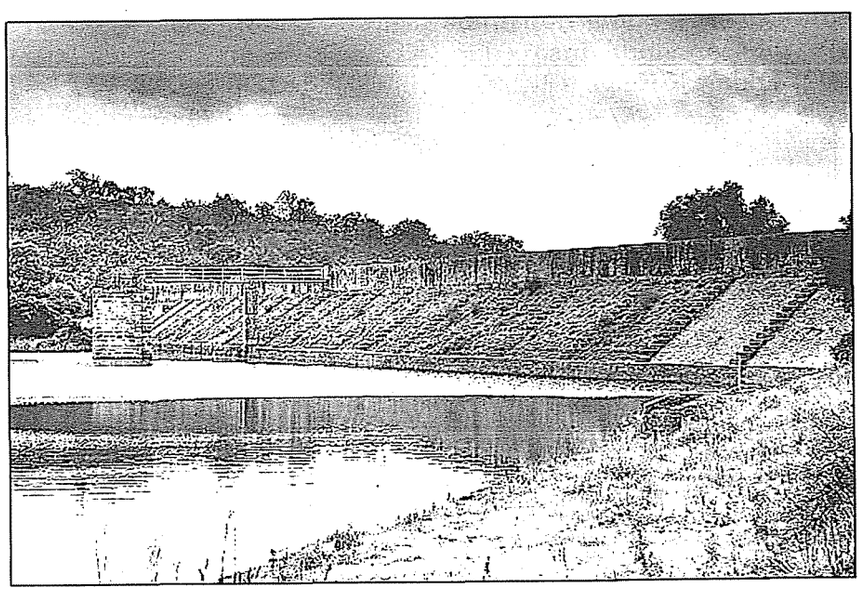
ÇİZELGE – 1.2
Roma dönemine ilişkin bazı barajların yükseklik ve uzunlukları
[Öziş, s. 68 – 73]

Bölge	Baraj	Yükseklik (m)	Uzunluk (m)
İspanya	Cornalvo	20	194
	Proserpina	12	427
	Alcantarilla	14	550
	Consuegra	5	664
	Esparragalejo	5	312
Suriye	Harbaka	21	365
	Humus	7	2000
Anadolu	Çavdarhisar	10	80
	Örükaya	16	40
	Böget	4	300

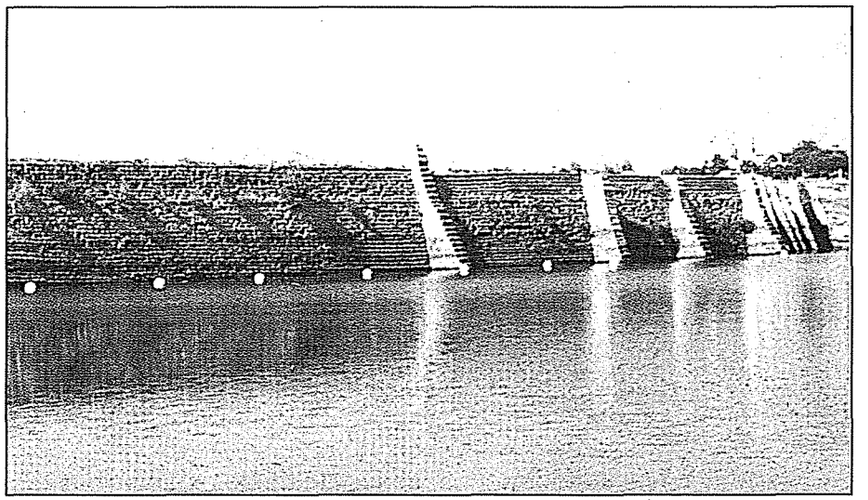
Roma döneminde yapılmış olan barajların bir bölümüne ilişkin görünüm ve planlar (Şekil – 1.44 — 1.53)'de gösterilmiştir.



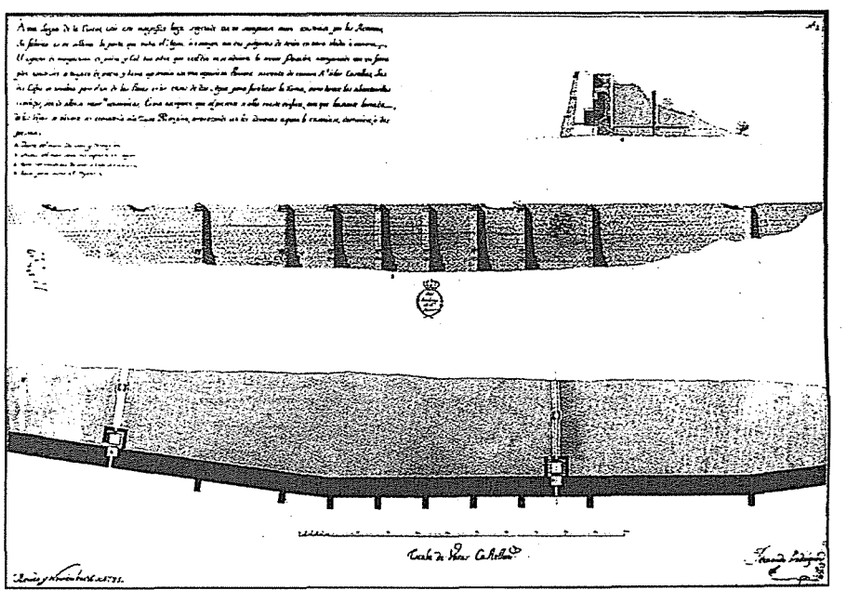
Şekil – 1.44: Roma dönemine ilişkin 8 m yüksekliğindeki Lizbon su rezervuarının modeli. [*Aqua Romana*, s. 192].



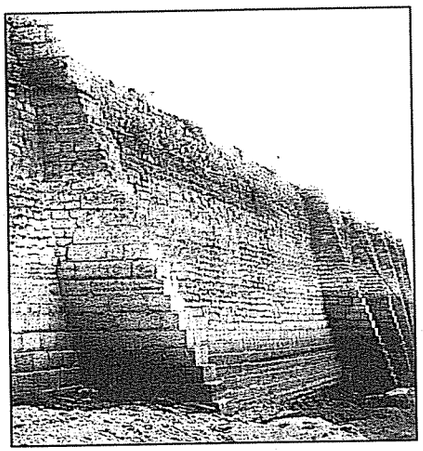
Şekil – 1.45: İspanya'da Badajoz bölgesindeki günümüzde de kullanılan Cornalvo barajının genel görünümü. Toprak yığma olan barajın suya bakan yüzeyi taşla kaplanmıştır ve tepe genişliği 8 m dir. UNESCO tarafından "World Haritage Site" olarak tescil edilmiştir.



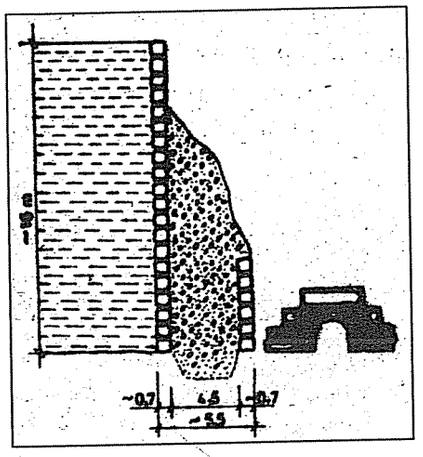
Şekil – 1.46: İspanya'da bulunan Proserpina barajının günümüzdeki görünümü. Bu baraj İ.S. II. yüzyılda Emerita Augusta kentinin su sisteminin bir parçası olarak inşa edilmiştir. Barajın suya bakan tarafı taş örgü duvar olup arkası toprak dolgudur. [*Aqua Romana*, s. 99].



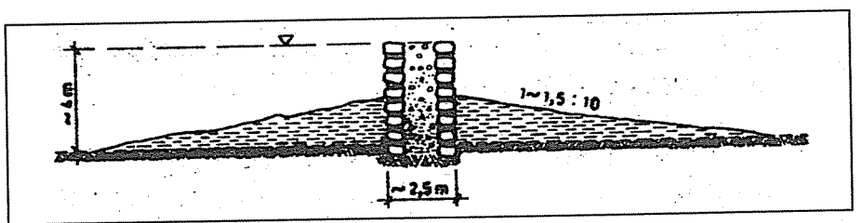
Şekil – 1.47: İspanya'da bulunan Proserpina barajının XVIII. yüzyılda Fernando Rodriguez tarafından yapılmış olan çizimi. [*Aqua Romana*, s. 98].



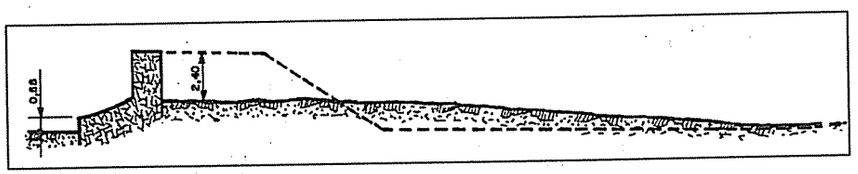
Şekil – 1.48: İspanya'da bulunan Proserpina barajının duvar yapısının boşken görünümü. [*Aqua Romana*, s. 100].



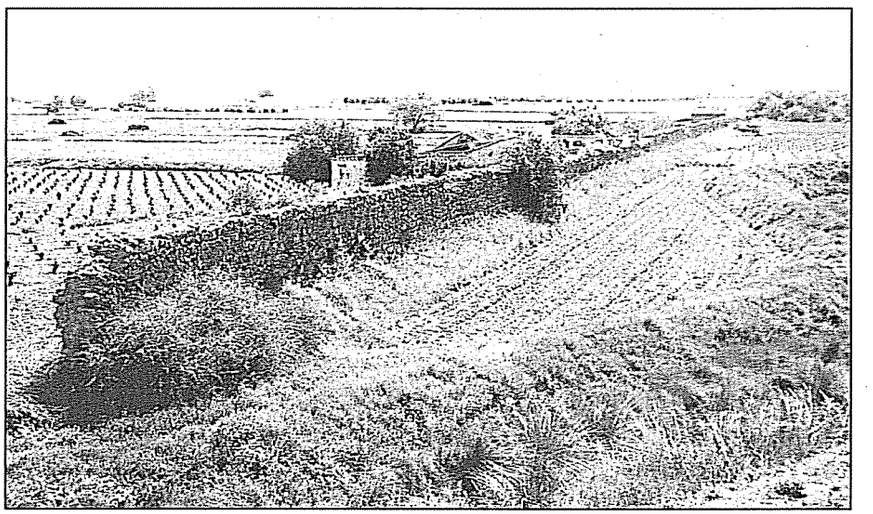
Şekil – 1.49: Çorum yakınında bulunan Örükaya barajının kesiti ve dip savağının görünüşü. Sulama amaçlı olan bu baraj iki taş duvar arası toprak dolgu olarak yapılmıştır. [Öziş, s. 74].



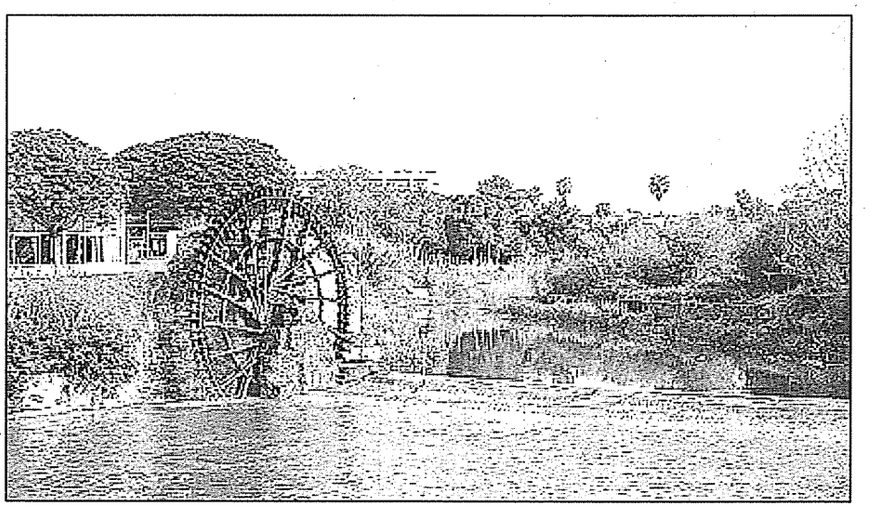
Şekil – 1.50: Niğde yakınında bulunan ve Misli (Mustilla) kentinin içme suyu sisteminin bir parçası olrak yapılmış olan Böget barajının kesiti. Toplam genişliği 2,5 m olup iki taş duvar arasına dolgu ile inşa edilmiş ve duvarlar her iki yandan % 15 eğimli toprak dolgu ile desteklenmiştir. [Öziş, s. 74].



Şekil – 1.51: İspanya'da Toledo bölgesindeki Castilla'da bulunan Consuegra kentine içme ve sulama suyu sağlamak ve taşkınları önlemek amacıyla yapılmış olan Consuegra barajının kesiti. Baraj taş duvar arkasına toprak dolgu olarak inşa edilmiş olup tabandaki genişliği 26 m dir. Buradaki kesikli çizgiler eski toprak düzeyini ve düz çizgiler de günümüzdeki toprak düzeyini göstermektedir.



Şekil – 1.52: Consuegra barajının duvarının günümüzdeki kalıntısı.



Şekil – 1.53: Günümüzde de kullanılan en eski barajlardan biri olup İ.S. 284'de İmparator Diocletianus tarafından inşa ettirilen Suriye'de Orentes (Asi) Nehri üzerinde bulunan Kattina veya Humus Gölü barajı. Bir söylenceye göre Firavun Sethi (İ.Ö. 1319 – 1304) tarafından inşa ettrildiği ileri sürülmektedir. Barajın yüksekliği 7 m, boyu 2000 m ve tabandaki genişliği 20 m dir. Yapılışında 90 milyon m^3 su tutan baraj 1934 – 1938'de yükseltilerek 200 milyon m^3 su tutar duruma getirilmiştir. Resimde barajın bir savağı üzerine kurulmuş olan noria görülmektedir.

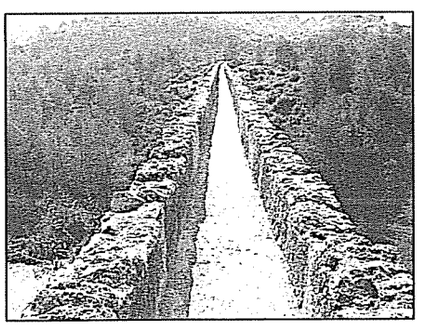
SU İLETİMİNDE KULLANILAN BORULAR

Açık ve kapalı kanallar

Su iletimi için kullanılan ilk sistemler doğal akarsu yatakları örnek alınarak elle kazılmış kanallardır. Kanallar zamanla tabanları ve şevleri taş veya tuğla döşenip güçlandirilerek iyileştirilmiş ve daha sonra üzerleri de örtülmüştür. Suyun belirli bir eğimle doğrusal olarak akışını sağlayan bu tür açık ve kapalı kanallar Roma döneminde gerek düz arazide ve gerekse su kemerlerinin üzerinde yaygın olarak kullanılmıştır. (Şekil – 1.54). Günümüzde de özellikle sulama şebekelerinde bu tür kanallar kullanılmaktadır.

Ahşap borular

Özellikle Çin'de binlerce yıl önce bambudan düşük basınçlara dayanıklı borular yapılmıştır. (Şekil – 1.55). Roma döneminde imparatorluğun ormanlık bölgelerinde içleri delinmiş çam kütüklerinden yapılmış borular kullanılmıştır. Bu tür borular yüzyıllarca kullanılmış olup günümüzde de Tahiti'deki sulama sistemleri gibi bazı yerlerde bunlara rastlanmaktadır.



Şekil – 1.54: İspanya'da Katalonya'da 249 m boyunda ve 27 m yüksekliğindeki Ferreres su kemerinin üzerindeki açık kanal.

Şekil – 1.55: Bambudan yapılmış su borusuna ilişkin bir Çin deseni. [Gürkan, s. 13].

Pişmiş toprak burular (künkler)

Suyun kot farkı olan iki nokta arasında yerçekimi etkisiyle aktığı durumlarda kanalların yanında pişmiş topraktan borular yani künkler de kullanılmıştır.[8] Ancak böyle bir akışta basınç söz konusu olmadığından boruların et kalınlığı 1 – 2 cm dolayındadır. Suyun bu şekilde künklerle iletiminin geçmişi 4000 yıldan daha geriye gitmektedir.

M.Ö. 2000 dalayında yaşamış olan Sümerli Ludingirra kendi yaşamöyküsünü anlatırken Sümer'deki su iletimi, tuvaletler ve kanalizasyon sistemi konusunda da ilginç bilgiler vermektedir:[9]

> "Nippur'da evler tek veya iki katlıdır. Hepsinin içinde çeşitli ağaçları olan bahçeleri vardır. Bu bahçelerde en önemli meyve hurmadır. Bildiğiniz gibi ülkemizin havası sıcak, yağmuru azdır. Bu yüzden bahçedeki bitkiler ve ev halkı için sular nehirden ve kanallardan *kil künkler* ile gelir. Bunların bakımından kentin yöneticisi sorumludur." [Tablet – 14].

> "Evlerde yukarı çıkan merdivenin altında tabanı tuğla döşeli, ortasında büyük bir delik bulunan hela vardır. Pislikler künklerle başka yere taşınarak orada bazı yöntemlerle zararsız hale getirilir."

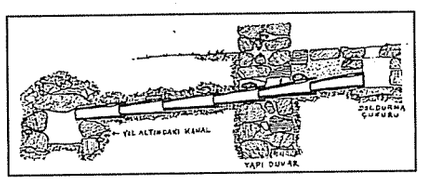
Girit Adası'nda M.Ö. 2000'lere ilişkin olarak Minos Sarayı'ndaki bir çeşmede pişmiş topraktan yapılmış su boruları (künkler) bulunmuştur. Bunlar konik yapılı künkler olup iç içe geçirilerek döşenmiştir. Ayrıca burada ters sifon sisteminin de kullanılmış olduğu görülmektedir. Günümüzde kullanılan künklere çok yakın olan dişili erkekli silindirik künklerin ortaya çıkışı çok daha sonradır. Pişmiş toprak künkler giderek basınca daha fazla dayanacak biçimde üretilmeye başlanmıştır.

---

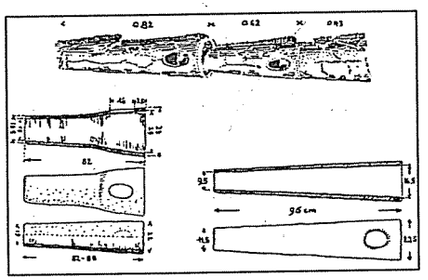
8 Mehmet Bildirici, "Klasik çağda su iletiminde basınçlı ve basınçsız borular", *Türkiye Mühendislik Haberleri*, Sayı 420 – 422, 105 – 109 (2002); Köksal Buğra Çelik, "Türkiye'de su iletiminde kullanılan borulu sistemlerin tarihsel gelişimi", *DSİ Teknik Bülteni*, Sayı 103, 23 – 30 (Ocak 2008); Köksal Buğra Çelik, "Su iletiminde kullanılan borulu sistemlerin tarihsel gelişimi", https//docplayer.biz.tr/10570439 [Erişim tarihi 23 Ocak 2019].

9 Muazzez İlmiye Çığ, *Sumerli Ludingirra*, Kaynak Yayınları, İstanbul 2009, Tablet – 15.

Basınçsız pişmiş toprak borularla su iletim sistemleri Sümerler ve Hititler döneminden itibaren kullanılmaktadır. İslahiye yakınındaki Samal Krallığı'na ilişkin Zincirli Höyük yerleşiminde M.Ö. IX – VIII. yüzyıllarla tarihlenen su şebekesinde 30 cm boyunda ve 11 cm iç çapında pişmiş topraktan künkler bulunmuştur. Bunlar birbirinin içine 5 cm kadar geçmekte olup kil dolgu kullanılarak sızdırmazlıkları sağlanmıştır. Hattuşa'da (Boğazkale/Çorum) bulunan pişmiş toprak künkler 60 – 96 cm boyunda konik biçimli olup çapları dar uçta 11 – 15 ve geniş uçta 20 – 22 cm dir. Bunlar birbirinin içine geçirilerek döşenmektedirler ve birleşme yerlerinde herhangi bir izolasyon malzemesi yoktur. (Şekil – 1.56 ve 1.57). Yazılıkaya'da bulunan su iletim hattında boruyu saran kil dolgu kullanılmıştır.

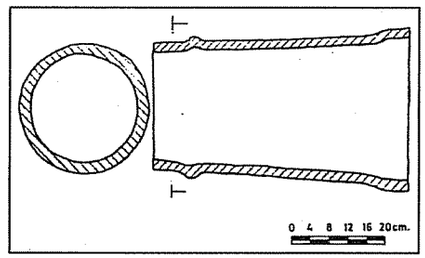


Şekil – 1.56: Alacahöyük'de bulunan Hitit dönemine ilişkin pişmiş topraktan drenaj boruları. [Çelik (2019), s. 1].

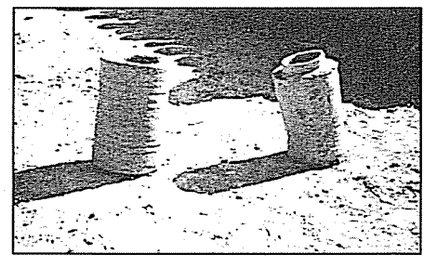


Şekil – 1.57: Hititler döneminde Boğazköy'de kullanılmış olan pişmiş toprak künkler. [Çelik (2008), s. 25].

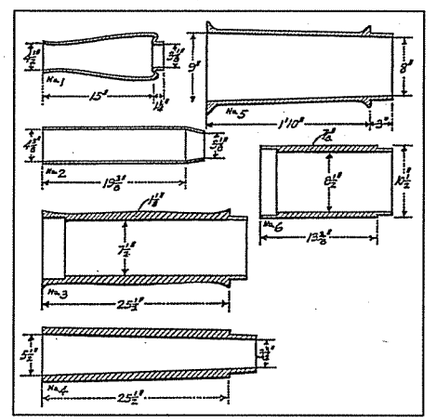
Pişmiş toprak borular Urartular döneminde de kullanılmış olup Aygır Gölü'nde bulunan sulama amaçlı su tesisatı büyük önem taşımaktadır. (Şekil – 1.58). Genel olarak pişmiş toprak künklerin uzunlukları 40 – 70 cm ve iç çapları da 10 – 15 cm dolayındadır. Ege ve Yunanistanda kullanılmış pişmiş toprak su boruları (Şekil – 1.59)'da ve Efes'de kullanılmış olanları da (Şekil – 1.60)'da verilmiştir. Pişmiş toprak boruların kullanımı daha sonraki dönemlerde de sürmüş ve günümüze kadar ulaşmıştır. Giderek et kalınlığı daha fazla olan basınca dayanıklı künkler yapılarak vadilerin ters sifon sistemi ile aşılması yoluna gidilmiştir. Bazı durumlarda ters sifon su kemeri ile birlikte inşa edilip kemerin yüksekliği azaltılarak ekonomi sağlanmıştır. (Şekil – 1.61).



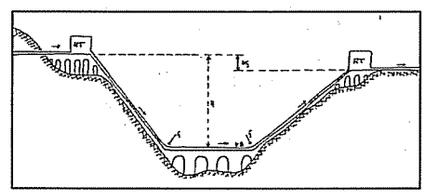
Şekil – 1.58: Aygır Gölü'nde bulunmuş Urartu dönemine ilişkin pişmiş toprak künk. [Çelik (2008), s. 25].



Şekil – 1.60: Efes'te kullanılmış erkek – dişi (soket – flanş) bağlantıları olan pişmiş toprak künkler. [Çelik (2019), s. 2].



Şekil – 1.59: Ege ve Yunanistan'da kullanılmış tipik pişmiş toprak künkler: Olympia (No: 1 – 4); Atina (No: 5): Bergama (No: 6). [Finch, s. 21].



Şekil – 1.61: Ters sifon (venter) bileşik kaplar ilkesine göre çalışın bir U borusudur. Bu U borusunun bir kolu diğerinden kısa olduğu durumda uzun koldan devamlı su konulduğunda su iki kol arasındaki düzey farkının karşılığı olan hidrostatik basıncın etkisiyle kısa koldan akar.

Roma'da M.Ö. I. yüzyılda yaşamış olan ünlü mimar Vitruvius *De Architectura* [Mimarlık Üzerine] adlı kitabında pişmiş toprak künkler konusunda aşağıdaki bilgileri vermektedir:[10]

---

10 Vitruvius, *Mimarlık Üzerine,* Çeviren Çiğdem Dürüşken, 3. baskı, İstanbul 2018, s. 321 – 323. Romalı mimar ve inşaat mühendisi Marcus Vitruvius Pollio'nun yaşamı konusunda çok az bilgi vardır. Yaklaşık olarak İ.Ö. 90 – 20 yılları arasında yaşamış ve *De Architectura* [Mimarlık Üzerine] adlı kitabını İ.Ö. 31'den önce yazmıştır. Kitapta yapı bilgisi, yapı gereçleri,

"Cidar kalınlığı en az iki parmak (2 digitus = 2x1,85 = 3,70 cm) olan pişmiş toprak borular yapılsın; ama bunların bir ucu dil biçimli olsun ki, birbirlerinin içine tam oturabilsinler. Birleşme yerleri de zeytinyağı ve sönmemiş kireç karışımından oluşturulan harçla sıvanmalı ve karın düzlüğünün [ters sifonun düz ve yatay kısmı] inişlerine, tam dirseğin olduğu yere, kırmızı volkanik taştan bir blok yerleştirilmeli, bu taşın ortası da delinmiş olmalı ki inişin son borusu taşın oyuğuna ve karındaki ilk boruya sokulup oturtulsun; aynı şekilde karşı taraftaki çıkışın başlangıcında da karnın son borusu taşın oyuğuna ve çıkışın ilk borusuna önceki gibi oturtulsun.

Boruların yönü bu şekilde ayarlandıktan sonra, artık karnın ne inişlerinde ne de yokuşlarında yerlerinden oynarlar, Çünkü su yollarında her zaman güçlü basınçlar oluşabilir, öyle ki suyu en başta kaynağından hafif hafif, azar azar vermezseniz, sonra da dirseklerde, dönüşlerde kelepçelerle veya kumdan ağırlıklarla akışını yavaşlatmazsanız, taşları bile patlatabilir. İşte bu husus dışında geri kalan bütün işlemler kurşun boru hattının döşenmesinde olduğu gibi halledilmelidir. Bir de suyu kaynağından ilk vermeye başladığınız anda, boruların içine önceden kül dökmüş olmalısınız ki, doğru dürüst kapatılmamış herhangi bir birleşme yeri varsa, bu küllerle şöyle iyice sıvansın."

M.Ö. II yüzyılın başlarında Kral Eumenes döneminde (M.Ö. 197 – 159) Bergama'ya Bergama Çayı (Selinus) vadisinden 20 km uzaklıktan biri tek hatlı 3 L/s ve diğeri çift hatlı 27 L/s kapasiteli ve pişmiş toprak künklerden yapılmış birbirine paralel iki sistem ile su getirilmiştir. Bergama'dan önceki 25 m derinliğindeki vadi ters sifonla aşılmıştır. Burada birinci hatta iç çapı 10 cm ve et kalınlığı 5 cm ve ikinci hatta iç çapı 18 cm ve et kalınlığı 7 cm olan borular kullanılmış ve boru bağlantıları 50 cm kenarlı taş bloklarla tespit edilmiştir. Bergama'daki su hatlarında kullanılmış olan 200.000'den fazla pişmiş toprak borunun örnekleri incelendiğinde bunların renk ve dokularının farklılığından farklı bölgelerde ve farklı malzeme kullanılarak üretilmiş olduğu görülmeketdir. Su şebekeleri onlarca km uzunluğunda olduğundan toprak künklerin tek bir merkezde üretilip büyük bir zahmetle dağlara taşınması yerine şebekenin inşaat alanına yakın yerlerde üretilmiş olması muhtemeldir. Anadolu'daki çeşitli antik kentlerin basınçlı su şebekelerinde kullanılmış toprak künklerin boyutları (Çizelge – 1.3)'de verilmiştir.

kamusal ve özel yapılar, kent tasarımı, hidrolik ve mekanik gibi konulara yer verilmiştir.

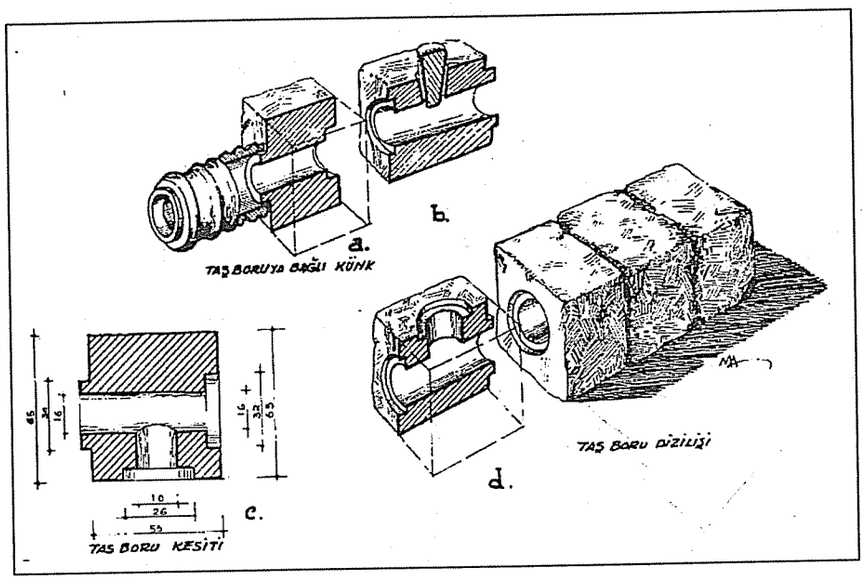
ÇİZELGE – 1.3
Anadolu'daki çeşitli antik kentlerinin su şebekelerinde basınç altında kullanılmış olan toprak künklerin boyutları
[Bildirici, s. 106]

Kent	İç çap (cm)	Kalılık (cm)	Dış çap (cm)	Uzunluk (cm)
Pergamon (Attalos)	13	6	25	50 - 60
Kremna (Burdur/Bucak)	8	8	24	42
Patara (Antalya/Kaş)	9	10	29	41
Diana Hamamı (İzmir)	22	5	32	52
Cybria (Burdur/Gölhisar)	18	7	32	52
Bubon (Burdur/Gölhisar)	12	7	26	–
Cyzicus (Bandırma)	35	7	49	50 - 70

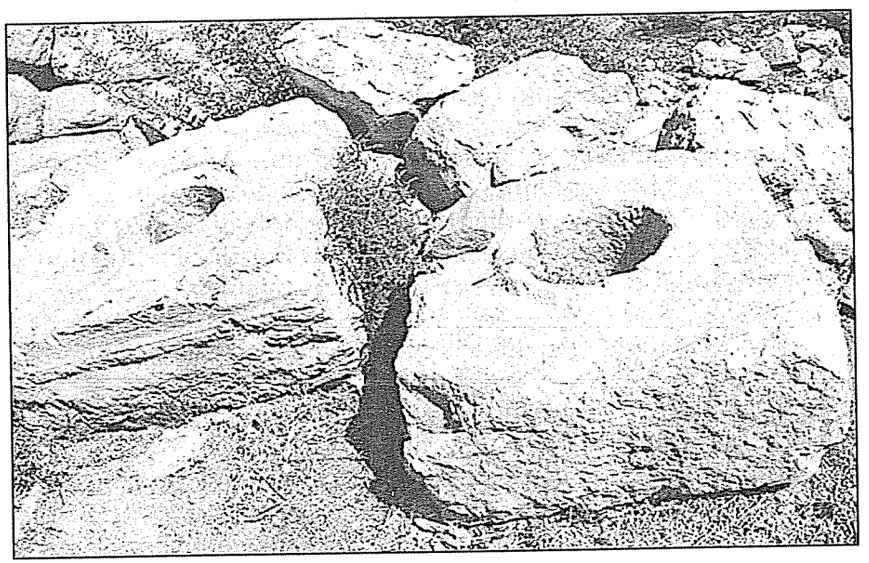
Taş borular

Helenistik ve erken Roma dönemlerinde Anadolu'daki birçok antik kentin su şebekelerinde suyun ters sifonlar ile derin vadilerden geçtiği yerlerde dayanıklı pişmiş toprak boruların yanında taştan oyulmuş basınca dayanıklı taş boırular kullanılmıştır. Taş boru kullanımı Anadolu dışında fazla yaygın bir uygulama değildir. İzmir Karapınar su yolu üzerindeki 184 m derinliğindeki bir vadi dibindeki 30 m yüksekliğindeki bir su kemeri üzerine taş borular ile kurulmuş 154 m derinliğindeki bir ters sifon ile geçilmiştir.

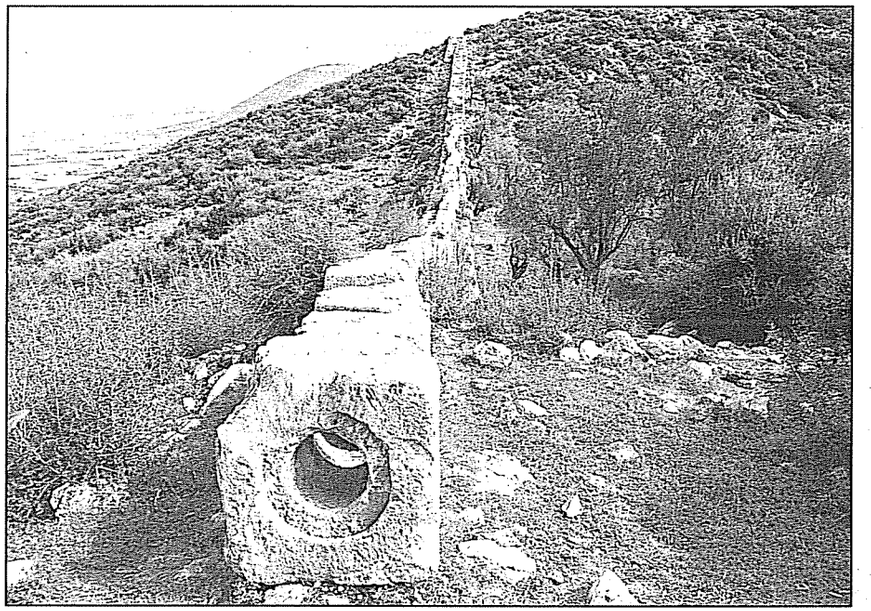
Taş borular genellikle dikdörtgen prizma biçiminde yapılmışlardır. Delikleri dairesel biçimde olup erkek ve dişi bağlantı uçları vardır. Bunların dirsek ve T biçimli parçaları olduğu gibi kontrol ve denetim amacıyla belirli aralıklarla üzerlerinde birer tıkaçla kapatılan düşey delikleri de vardır. (Şekil – 1.62 ve 1.63). Bu delikler borudaki birikintileri temizlemek, biriken kalker tabakalarını sıcak sirke dökerek açmak amacıyla açılmıştır. Patara'daki taş borulardan yapılmış olan ve Delikkemer olarak adlandırılan sifon günümüze oldukça iyi bir biçimde ulaşabilmiştir. (Şekil – 1.64).



Şekil – 1.62: Ankara'ya su getirmede kullanılmış olan taş borular. [Çelik (2019), s. 7].



Şekil – 1.63: Erkek ve dişi bağlantı yerleri olan taş borular. [Çelik (2019), s. 6].



Şekil – 1.64: Patara'da kente su getirmek için taş borulardan yapılmış olan ve günümüzde Delikkemer olarak anılan ters sifon.

Kurşun borular

Roma döneminde ana su kanallarını evlere ve çeşmelere bağlayan kollarda büyük miktarda kurşun boru kullanılmıştır. Helenistik dönemde dökme kurşun borular kullanılırken Roma döneminde kurşun levhaların çapı standardize edilmiş silindirler üzerine sarılması ve karşı karşıya gelen kenarlarının lehimlenmesi sonucunda elde edilmiş borular kullanılmıştır. Bu yöntemle elde edilen sorular oval veya armut biçimi kesitindedir.[11] (Şekil – 1.65 ve 1.66).

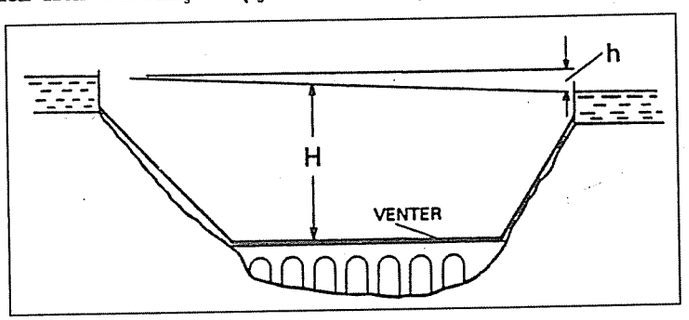
---

11 Kurşun boruların boyları 10 ayak [1 ayak (pes) = 29,6 cm; 10 ayak = 296 cm] olarak standardize edilmiş olup bunlar bir silindir üzerine kıvrılarak üretildikleri kurşun levhanın enine göre adlandırıldıkları gibi et kalınlığı yerine bir borunun ağırlığı verilmektedir. Örneğin, elli parmaklık (quinquaginta) olarak ifade edilen bir boru 50 parmak [1 parmak (uncia) = 2,46 cm; 50 parmak = 50x2,46 = 123 cm) genişliğinde bir kurşun levhanın silindirik olarak kıvrılmasıyla elde edilir ve ağırlığı 600 libre'dir [1 libre (libra) = 328,9 g; 600 libre = 600x328,9 = 197340 g = 197,34 kg]. Bu borunun dış yarıçapı hesaplanırsa 19,58 cm bulunur. [Vitruvius, s. 319].

Şekil – 1.65: XIII. Roma lejyonunun damgasını taşıyan kurşun su borusu. [Gürkan, s. 13].

Şekil – 1.66: İ.S. II. yüzyıla ilişkin kurşun su borusu. Üzerinde "C(olonarum) C(oloniae) AVG(ustae) FIR(mae) EX OFFI(cina) AVR(elii) Car(ii)" [Colonia Augusta Firma (Astigi) kolonistlerinden Aurelius Carus'un imalathanesinde yapılmıştır] yazılıdır. [*Aqua Romana*, s. 69].

Roma döneminde çeşitli kentlere su getirmek için de kurşun borular kullanılmıştır. Lyon kentine su getiren sistemdeki ters sifonlarda dış çapı 270 mm ve et kalınlığı da 35 mm olan 12 kg/cm² lik işletme basıncına dayanıklı kurşun borular kullanılmıştır. **(Şekil – 1.67)**.

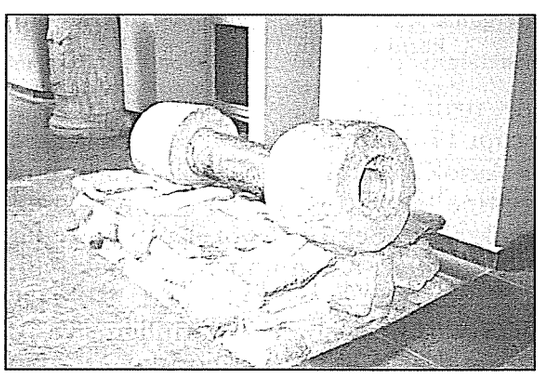


Şekil – 1.67: Fransa'da Lyon kentine su getirmek için İmparator Hadrianus (M.S. 76 – 138) döneminde (M.S. 117 – 138) yapılmış olan su tesisinde bulunan Soucieu ters sifonu. Sifonun uzunluğu = 1204 m; Maksimum derinlik H = 92,8 m; İlki uç arasındaki seviye farkı h = 8,84 m; Su iletimi: birbirine paralel dış çapı 27 cm olan 9 kurşun boru ile yapılmıştır. [Hill (1996), s. 38].

Bir ağır metal olan kurşunun borularda oluşan bileşiklerinin suya karışarak kronik zehirlenmelere neden olduğu Roma döneminden beri bilinmektedir. Vitruvius bu konuda şunları yazmaktadır:[12]

> "Toprak borudan gelen su, kurşun borudan gelen sudan çok daha sağlıklıdır; çünkü kurşun zehirlidir, beyaz kurşun oluşturur ve açıkçası bu madde insan bünyesine çok zararlıdır, çünkü kurşunun oluşturduğu bir şey bu kadar zararlıysa, hiç kuşkusuz kurşunun kendisinin de pek sağlıklı olması beklenemez.
>
> Mesleği kurşunla alakalı kişilerden de anlayabiliriz bu olayı, hepsinin doğal ten renginin yerini sarı solgun bir tona bırakmış olmasından. Çünkü döküm sırasında kurşun solunursa, çıkan duman vücudun azalarına gelip oturur, günbegün yakıp kavurur, organlardaki kanın tüm hayati içeriğini içip kurutur. Bu yüzden suyun sağlıklı olmasını istiyorsak, mümkün mertebe kurşun borularla getirmemeye bakacağız. Ayrıca toprak borulardan gelen suyun daha sağlıklı olduğu, günlük sofralarımızdan da anlaşılabilir; çünkü masalarımızın üstü gümüş takımlarla tıklım tıkış olsa bile, yine de insanlar yemeğin lezzetini tam anlamıyla koruduğu için toprak kapları tercih eder."

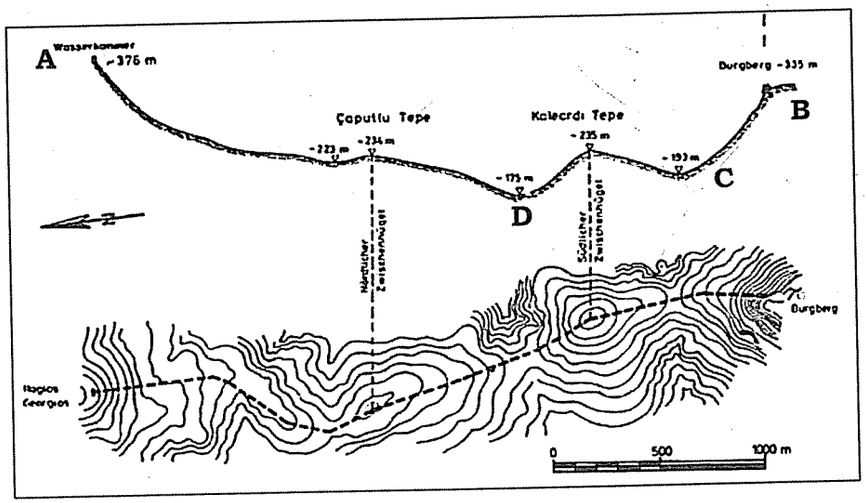
Anadolu'da kurşun borular en erken M.Ö. 500 yılı dolayında Efes'deki Artemis Tapınağı'na su getirilirken kullanılmıştır. Buradaki ters sifonda dış çapı 17 cm ve uzunluğu 60 cm olan kurşun borular kullanılmış ve bunlar silindir biçiminde 35 cm uzunluğunda mermer manşonlarla birbirine bağlanmıştır. (Şekil – 1.68).



Şekil – 1.68: Kurşun borular ve mermer manşonlar. [Çelik (2019), s. 8]

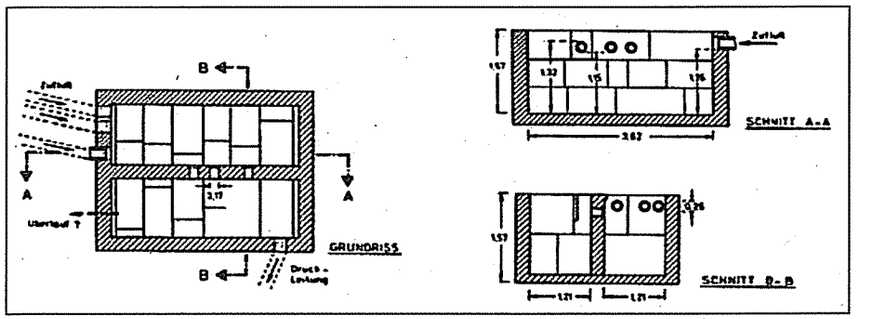
12 Vitruvius, s. 323.

Kurşun boru hatlarının başka bir örneği Bergama'daki Madradağ ters sifonudur. M.Ö. II. yüzyılda Bergama Kralı II. Eumenes döneminde (M.Ö. 197 – 159) Madradağ'daki üç kaynaktan 44 km uzunluğunda ve birbirine paralel üç pişmiş toprak künk ile Bergama'ya su getirilmiştir. Bu hat 160 m derinliğindeki bir vadiden kurşun borulu bir ters sifon ile geçirilerek kentin akropolüne su ulaştırılmıştır. Bu ilginç mühendislik eserinin planı ve kesiti (Şekil – 1.69)'da verilmiştir. XX. yüzyıla gelinceye kadar bu büyüklükte bir hidrolik tesise rastlanılmamaktadır.

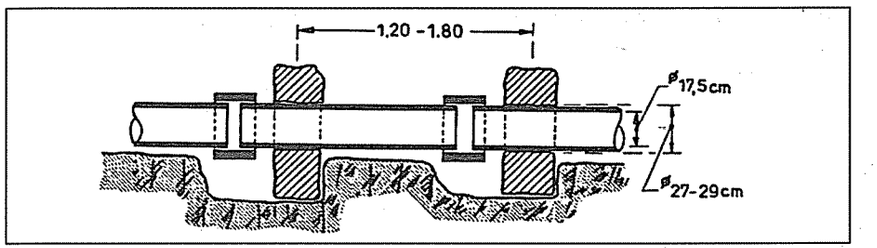


Şekil – 1.69: Bergama Madradağ su sisteminde kurşun borulu ters sifonun kesiti ve planı. [Bildirici, s. 107].

Sifonun uzunluğu 3250 m ve kullanılan kurşun boruların iç çapı 17,5 cm dir. Toprak künklerle gelen su suyun sifona girdiği A noktasında her biri 1,2x3,6 m boyutunda olan iki gözlü çökeltme havuzu ve yükleme odası görevini gören bir hazneye gelmektedir. (Şekil – 1.70). Buradan çıkan su tek bir kurşun boru hattından oluşan sifona girmektedir. Vadinin en derin noktası D ve suyun çıkış noktası da B ile gösterilirse B – D = 335 – 175 = 160 m sifonun derinliğini ve AB = 3250 m sifonun boyunu verir. Kurşun borular 1,2 m aralıklarla konulmuş olan 30 cm kalınlığında, 130 cm genişliğinde, 70 cm yüksekliğinde ortası 30 cm çapında delinmiş olan taş bloklarla tespit edilmiştir. (Şekil – 1.71).



Şekil – 1.70: Bergama ters sifonunun başında bulunan çift gözlü çöktürme havuzu ve yükleme odası. [Çelik (2019), s. 8].



Şekil – 1.71: Bergama ters sifonunun kurşun boruları ve taş sabitleyiciler. [Bildirici, s. 107].

Antik Efes, Bergama ve Lyon kentlerinin su şebekelerindeki ters sifonlarda kullanılmış olan kurşun boruların boyutları (Çizelge – 1.4)'de topluca gösterilmiştir.

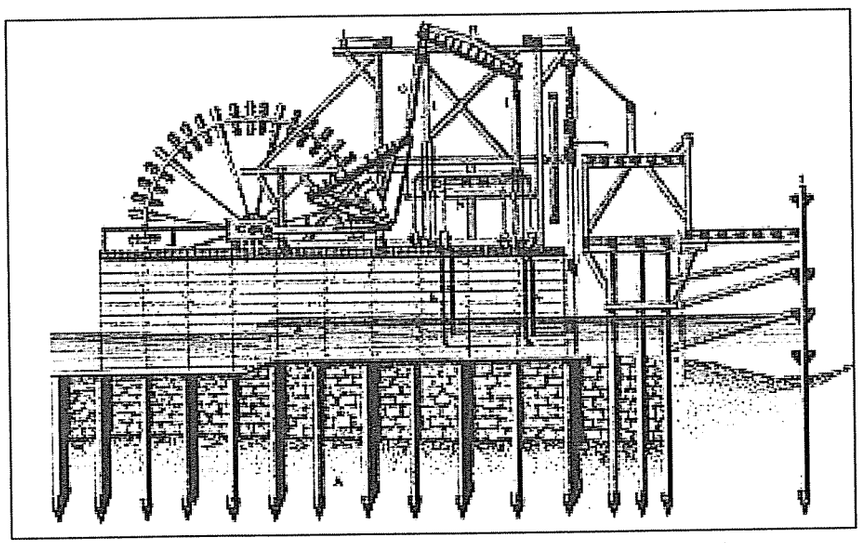
ÇİZELGE – 1.4
Antik Efes, Bergama ve Lyon kentlerinin su şebekelerinde kullanılmış olan kurşun boruların boyutları
[Bildirici, s. 107]

Kent	İç çap (cm)	Kalılık (cm)	Dış çap (cm)	Uzunluk (cm)
Efes (Artemis Tapınağı)	8	4,5	17	60
Efes (Mermer manşon)	18	–	–	35
Pergamon (Bergama)	17,5	5,5	28,5	120 – 190
Lyon (Soucieu ters sfonu)	20	3,5	27	–

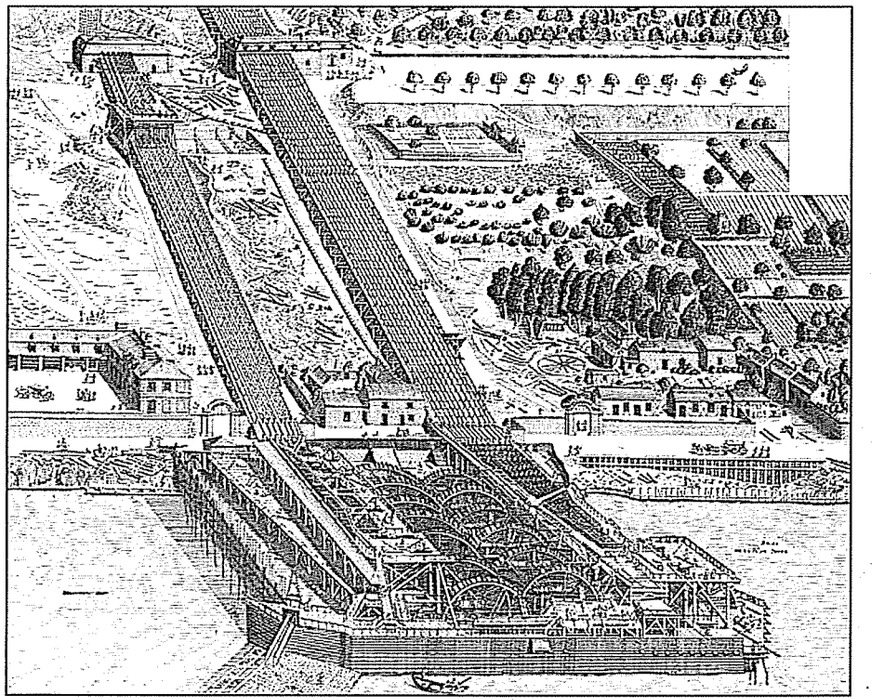
Font (dökme demir) borular

Demir elde edilmesinde kullanılan fırınların ve körüklerin gelişimi sonucunda XV. yüzyıldan itibaren erimiş demir elde edilmeye başlanmıştır. Bunun sonucunda önceleri dökme demir toplar ve ardından da benzer yöntemlerle dökme demir borular üretilmiştir. Bununla birlikte başlangıçta kullanılan döküm yöntemleri nedeniyle kısa boylu borulardan bir haftada ancak 25 tane kadar dökülebiliyordu.

Dökme demir borular ilk kez 1455'de Almanya'da Nassau'da Kont Jean V. Dillenbourg'un şatosunda kullanılmıştır. 1661'de Braunfeld Şatosu'na 9 kg/cm² basınca dayanıklı dökme demir borularla su getirilmiştir. Bu o dönem için önemli bir başarıdır. Basınçlı borular üzerine temellenen su tesislerinin en büyüklerinden biri 1668'de Fransa'da Versailles'da Arnold de Ville (1653 – 1722) tarafından inşa edilmiştir. Burada "Machine de Marly"nin 250 pompası Seine Nehri'nin suyunu 162 m yüksekliğe basıyordu. Bu sistem 133 yıl durmadan çalışmıştır. Toplam 10 km lik şebekede bulunan dökme demir boruların bir kısmının çapı 500 mm idi. (Şekil – 1.72 ve 1.73).



Şekil – 1.72: Marly'de pompaları çalıştıran 11,9 m çapındaki 14 su dolabından biri ve çalıştırdığı pompalar.



Şekil – 1.73: 1688'de inşa edilen Marly su sistemi. Önde Seine nehri üzerindeki pompalar görülmetedir.

Bakır borular

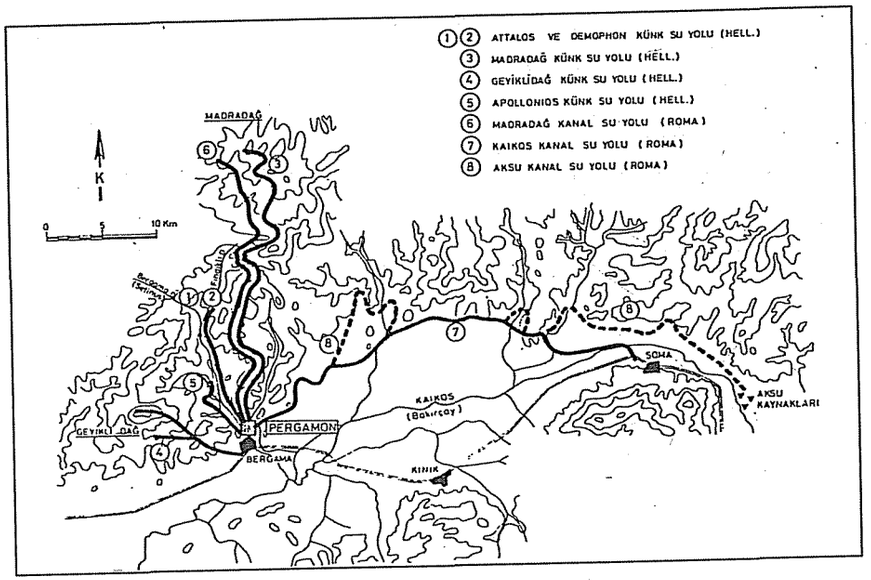
XIX. yüzyıl başlarından itibaren su iletiminde bakır borular kullanılmaya başlanmıştır. İlk sınaî boru hattı 1817'de Almanya'da Berchtesgaden'deki tuzlalardan Reichenhall'e doymuş tuzlu su iletmek üzere inşa edilmiştir. Bu boru hattı 150 mm çapında ve 43 kg/cm² basınca dayanıklı bakır borulardan yapılmış olup 1925 yılına kadar kullanılmıştır.

BAZI ANTİK KENTLERİN SU SİSTEMLERİ

Eski Anadolu kentlerinin su yolları

Bergama kentine Helenistik ve Roma dönemlerinde çeşitli kaynaklardan su getirmek için su yolları yapılmıştır. Bunlar

genel olarak toprak künkler kullanılarak inşa edilmiş olmakla birlikte Bergama akropolü yüksek olduğundan buraya basınca dayanıklı taş künkler veya kurşun borular yardımıyla su çıkartılmıştır. (Şekil – 1.74 ve 1.75).



Şekil – 1.74: Eski Bergama'nın su yolları. [Kekeç, s. 9].

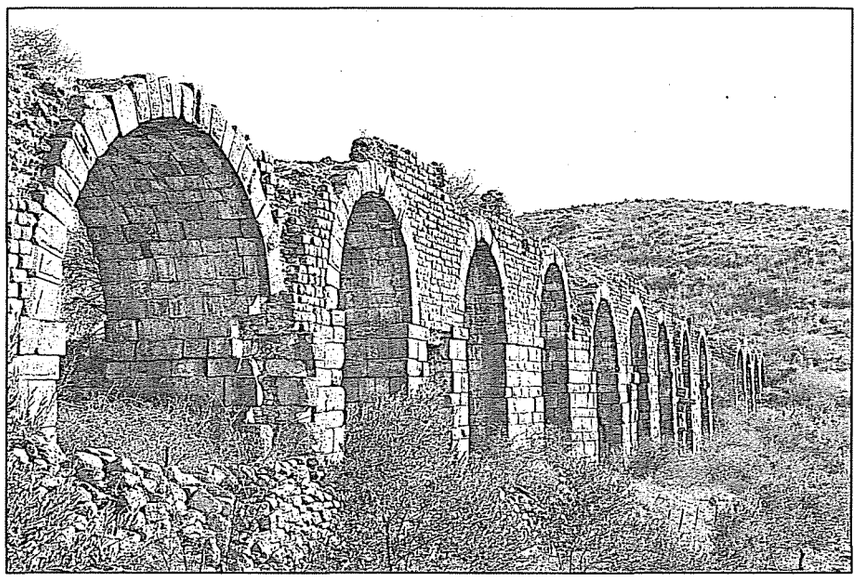
1) Attalos su yolu: Helenistik dönemde Selinus {Berga-ma Deresi) vadisinin doğu yamaçlarını izleyen tek sıra olarak yapılmış olup Gymnasium yakınlarında sona erer.

2) Demophon su yolu: Helenistik dönemde Attalos su yolunu izleyerek çif sıra toprak künklerden yapılmış olup Demeter Çeşmesi'nde son bulur.

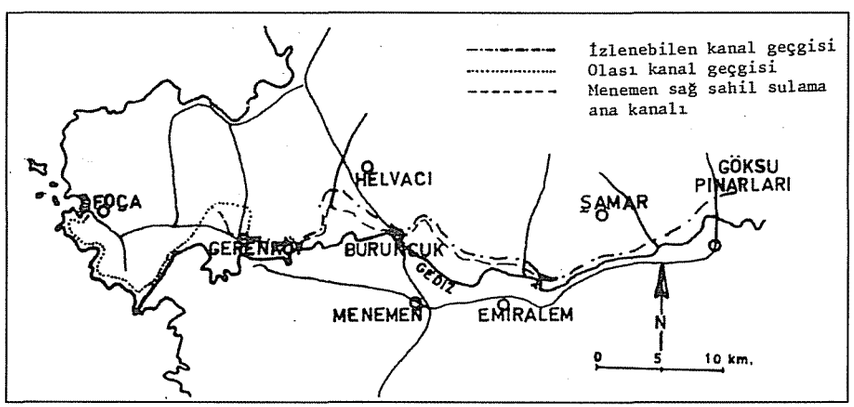
3) Madradağ su yolu: Helenistik dönemde (M.S. I. yüzyıl) toprak künklerle üç sıra olarak inşa edilmiş olup Soğucak Tepe'nin güney yamacındaki su deposuna gelir. Buradan kurşun borularla yapılmış basınca dayanıklı bir su yolu ile Akrdpol'ün tepesine ulaşır.

4) Geyikli Dağ su yolu: Helenistik dönemde inşa edilmiş olan toprak künklü bu su yolu ile kentin Selinus vadisinin batısındaki kısmına ve Asklepion'a su verilir.

5) Apollonius su yolu: Helenistik dönemde yapılmış olup 18 cm çapında damgalı künklerden çift sıra bir su yolu ile bunun 4 m üzerinde 25 cm çaplı künklerden oluşan tek sıralı ikinci ve 15 cm üzerinde 18 cm çaplı künklerden oluşmuş çift sıralı üçüncü bir su yolu içerir.



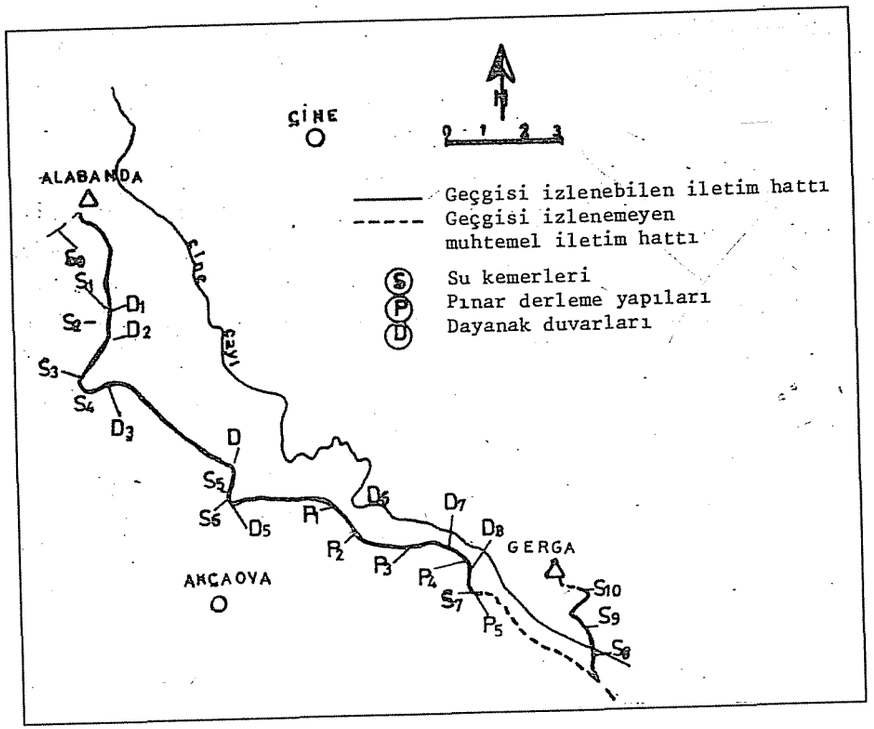
Şekil – 1.75: Akropole doğru giden Bergama su kemerleri.



Şekil – 1.76: Eski Foça'nın Göksu pınarlarından başlayan 100 km lik su iletim sistemi. [Öziş (1984), s. 22].

6) Madradağ kanal su yolu: Roma döneminde yapılmış olan bu su yolu Madradağ künk su yoluna paralel olarak su kemerleri üzerinden Demeter Çeşmesi'ne ulaşır.

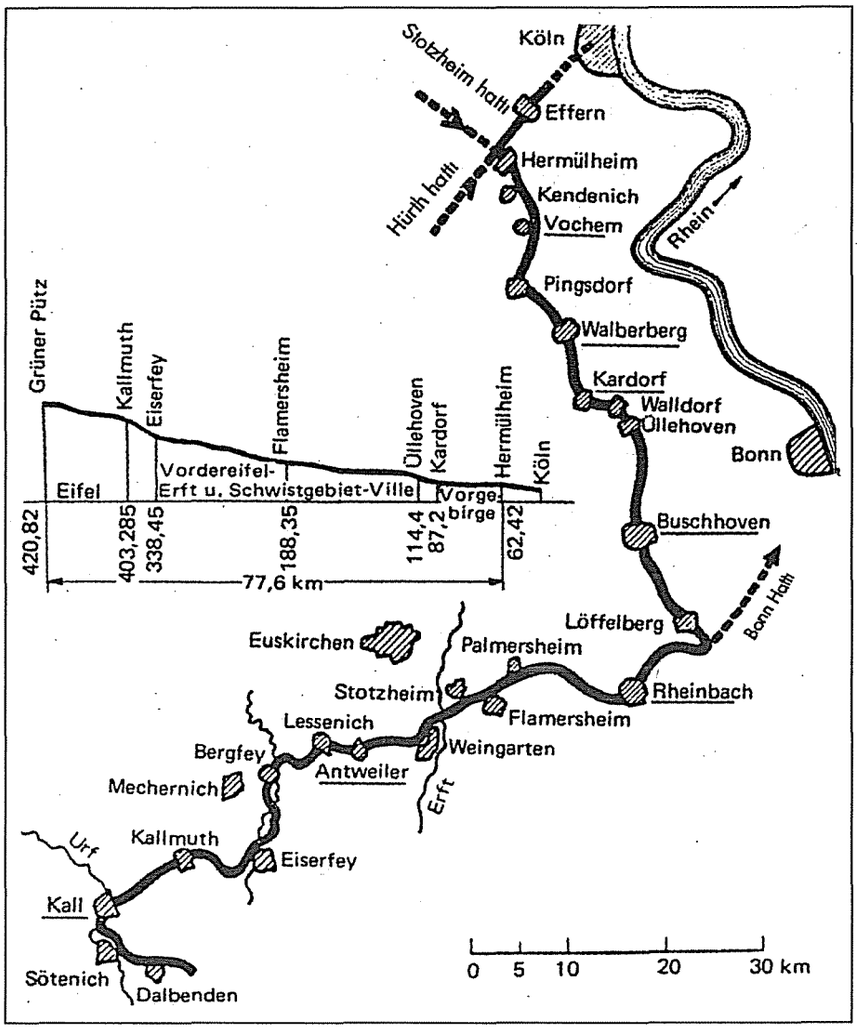
7) Kaikos kanal su yolu: Roma döneminde yapılmış olup Soma'dan başlayıp Kaikos (Bakırçay) vadisinin kuzey yamaçlarını izleyerek Bergama'ya ulaşır.



Şekil – 1.77: Karia kentleri Alabanda (Araphisar) ve Gerga'nın toplam uzunluğu 21,4 km olan tarihsel su iletim sistemleri. [Öziş (1984), s. 36].

Köln kentinin su yolları

Almanya'daki Köln kentinin Roma döneminde yapılan su yollarının toplam uzunluğu 77,6 km dir. (Şekil – 1.78).

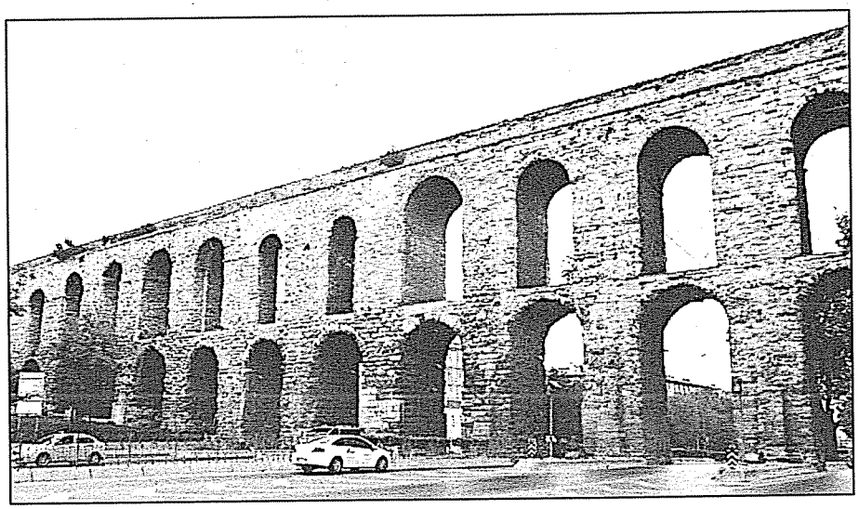


Şekil – 1.78: Roma döneminde Köln kentinin su yolları. [Kretzchemer, s. 71].

İSTANBUL'UN SU YOLLARI

İstanbul'a su getirmek için Roma ve Bizans dönemlerinde çeşitli su yolları yapılmıştır. İlk kez Roma İmparatoru Hadrianus döneminde (M.S. 117 – 138) İstanbul'a

(Sultanahmed'e) Istranca Dağları'ndan su getirilmiştir. Bunun ardından IV. yüzyılda çok sayıda su yolu inşa edilmiş ve şehir içinde de su sarnıçları yapılmıştır. Binbirdirek Sarnıcı ile İmparator Justinianus döneminde (M.S. 527 – 569) yapılan Yerebatan Sarnıcı bunların örnekleri olarak günümüze ulaşmıştır. Roma ve Bizans döneminden kalan su kemerlerinin başında Mazulkemer ile Bozdoğan Kemeri gelmektedir. **(Şekil – 1.79)**.



Şekil – 1.79: İstanbul'daki Bozdoğan kemerinin genel görünümü.

Osmanlıların İstanbul'u fethinin ardından kentin su gereksiniminin artmasına paralel olarak çeşitli yeni su yolları inşa edilmiştir. Bu tesisler beş grup altında toplanabilir.

1. Halkalı tesisleri: Bu tesisler Fatih Sultan Mehmed döneminden XVIII. yüzyıl ortalarına kadar geçen süre içinde inşa edilmiş birbirinden bağımsız 16 isale hattından oluşur.

2. Üsküdar su yolları: Üsküdar'a su getiren bu yollar da çeşitli dönemlerde inşa edilmiştir.

3. Kırkçeşme tesisleri: Kanunî Sultan Süleyman döneminde su sıkıntısının artması üzerine Belgrad Ormanı'nda yapılan bentlerden su getirmek üzere Mimar Sinan tarafından

1554 – 1563 yılları arasında inşa edilmiştir. İnşaatın bitmesinden kısa bir süre sonra 1563'de meydana gelen büyük selde tahrip olan kısımları onarılarak 1564'de yeniden hizmete girmiştir. Bu tesisler üzerinde anıtsal nitelikte su kemerleri bulunmaktadır. Bunların başında Kemerburgaz yakınlarındaki Uzunkemer ve Kırık veya Kovukkemer ile bir mimari anıtı olan Moğlova kemeri gelir.

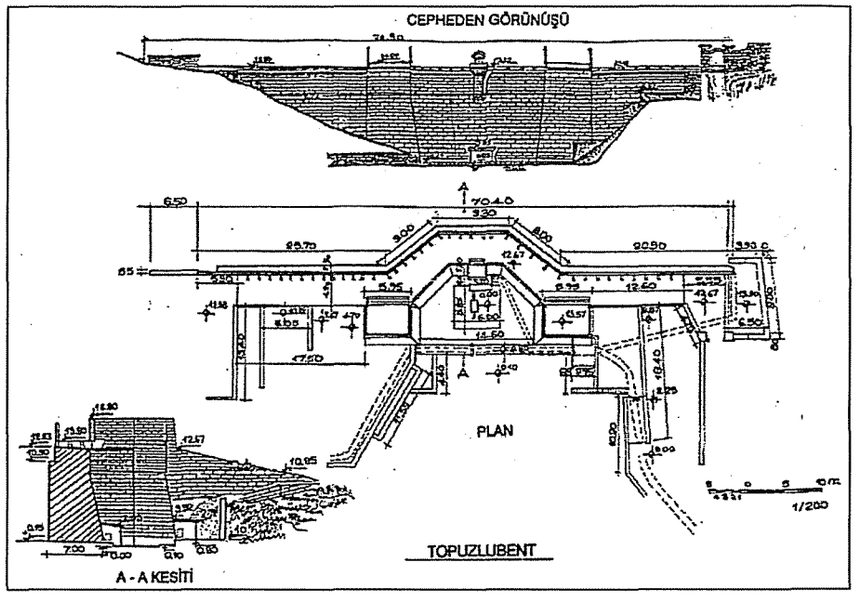
4. Taksim suyu tesisleri: İstanbul'un genişlemesi üzeri-ne Belgrad Ormanı'nda yeni bentler yapılarak bu bentlerden su getirmek üzere I. Mahmud döneminde inşa edilmiş ve 1731'de tamamlanmıştır.

5. Kâğıthane (Hamidiye) suyu tesisleri: XIX. yüzyılın sonunda II Abdülhamid döneminde Kırkçeşme tesislerinin doğu kolu üzerinde ve Kemerburgaz'ın güneydoğusundaki boşa akan kaynakların suları demir borular ile toplanmış ve bir içme suyu şebekesi oluşturulmuştur. (Şekil – 1.80 — 1.85).

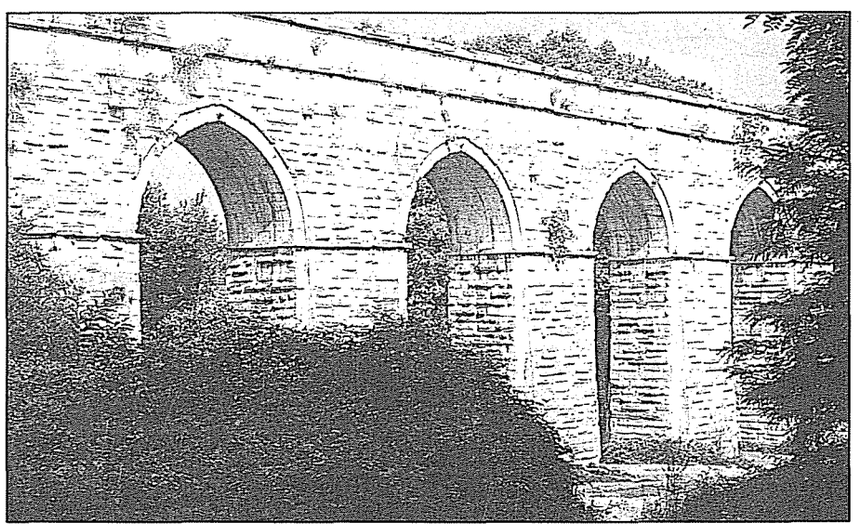
Osmanlı döneminde inşa edilen su yollarında galeriler yerine pişmiş topraktan künkler tercih edilmiş, bazı durumlarda her ikisi de birlikte kullanılmış ve çoğu kez galerilerin içine künkler döşenmiştir. Kullanılan künklerin iç çapları 6 veya 7 parmak'dır. Bir parmak mimar arşınının yirmi dörtte biri olup 3,15 cm dir. Buna göre, kullanılan künklerin iç çapları 18,90 veya 22,05 cm ve toplam uzunlukları da 35,5 cm dir.

Künkleri döşemek için açılan hendek yeniden toprakla doldurulduğunda toprak yükü nedeniyle meydana gelen deformasyonlar sonucunda künklerin ek yerlerinde su sızıntıları ortaya çıkar. Bunu önlemek için künklerin bağlantı yerlerinin esnek bir madde ile izole edilerek sızdırmaz duruma getirilmesi gereklidir. Osmanlı dönemindei Bunun için 6 kısım bezir (keten tohumu) yağı, 6 kısım kireçtaşı tozu ve 1 kısım pamuk karışımından hazırlanan bir macun kullanılmıştır. Bu macun bir kaç ay süreyle esnekliğini koruduktan sonra taş gibi sertleşir ve bu süre içinde de deformasyonlar sona ereceğinden sızma sorunu da ortadan kalkar.

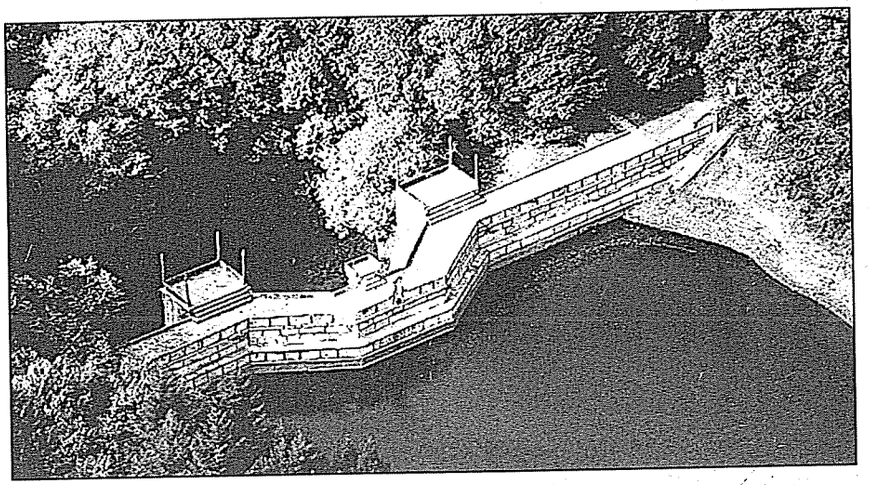
Şekil – 1.80: Kırkçeşme ve Taksim su sistemlerinin iletim hatlarının krokisi. [Acar, s. 48].



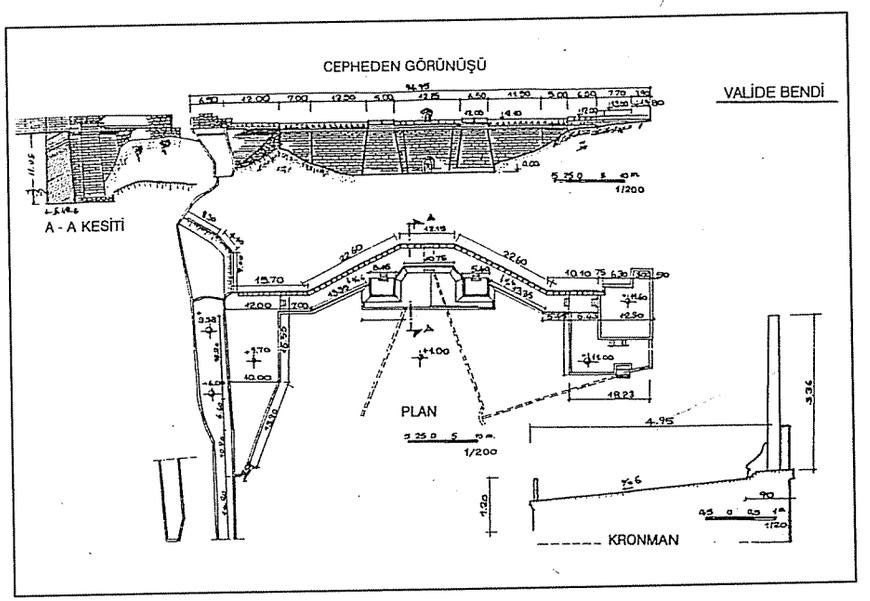
Şekil – 1.81: Taksim suyunun ilk bendi olarak I. Mahmud tarafından 1750'de yaptırılan Topuzlubend (I. Mahmud Bendi). İlk yüksekliği 10,61 m iken 1786'da 13,64 m ye çıkartılmıştır. Günlik verimi 24 lüledir (1248 m^3/gün). [Çeçen (1988), s. 45].



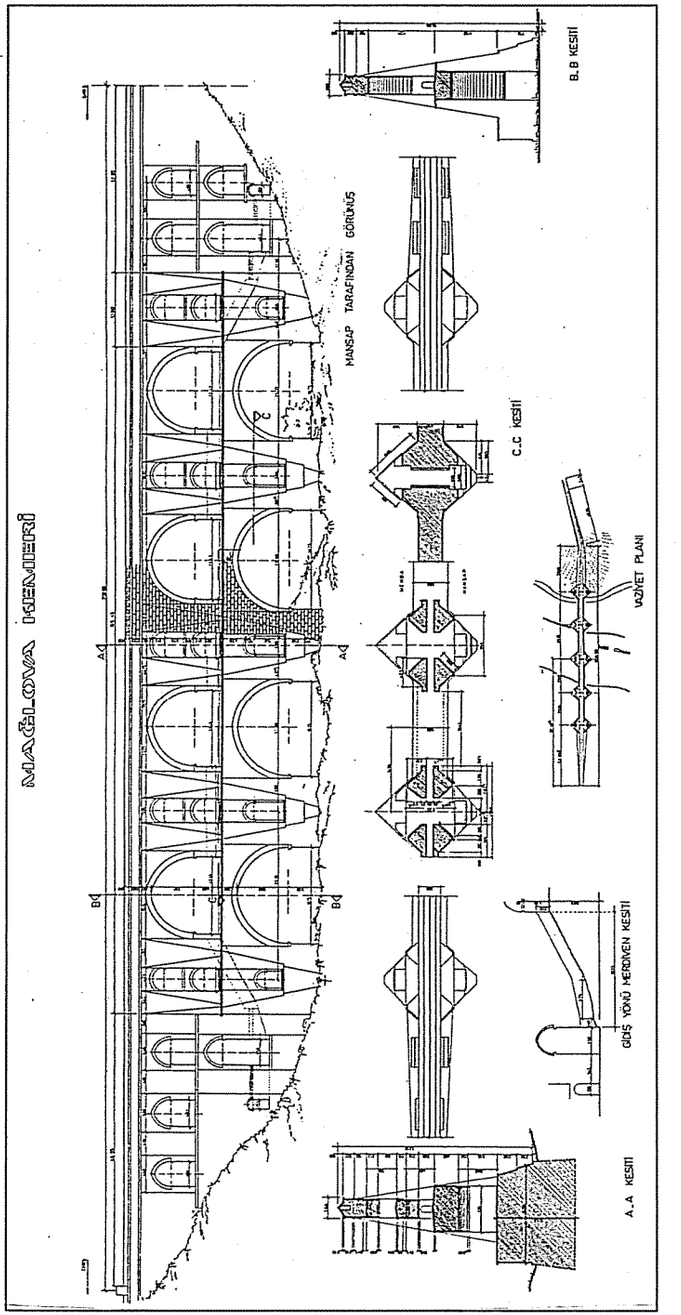
Şekil – 1.82: I. Mahmud su kemeri. [Çeçen (1988), s. 45].



Şekil – 1.83: Taksim su sistemini besleyen bentlerden biri olan Valide Bendi'nin havadan görünümü.



Şekil – 1.84: Valide Bendi'nin cepheden görünümü ve planı. (Röleve: Kâzım Çeçen; 1988).

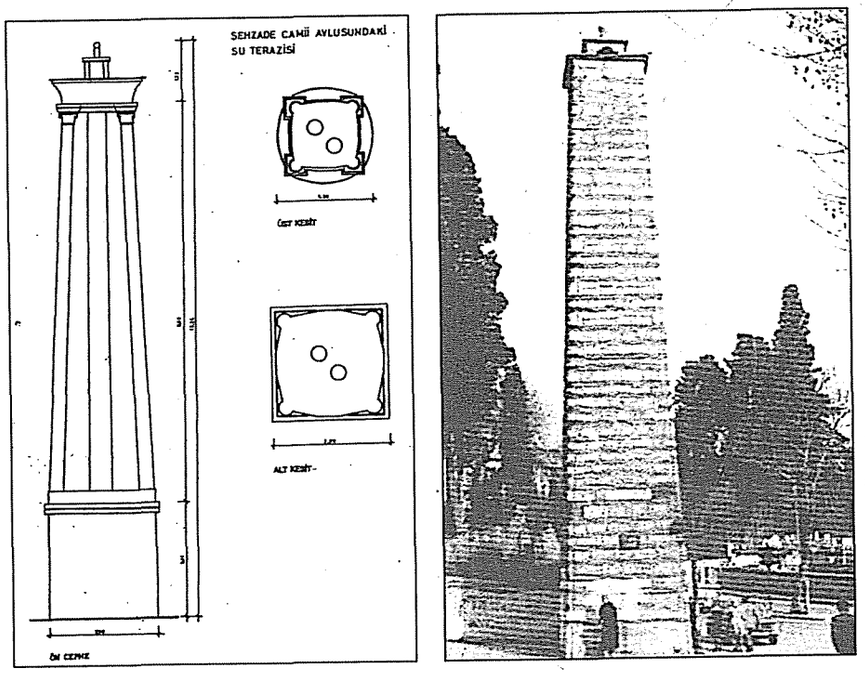


Şekil – 1.85: Mimar Sinan tarafından inşa edilmiş olan Kırkçeşme tesisleri üzerinde bulunan Moğlova Kemeri. [Röleve Kâzım Çeçen; 1988].

SU DAĞITIM SİSTEMLERİ

Su terazileri

Su terazileri bileşik kaplar ilkesine göre çalışan basınç ayarlayıcılardır. Bunlar künklerin basınç altında çalışmak zorunda kaldığı engebeli arazilerde inşa edilirler. Serbest yüzeyli galerilerde ve basınçsız künklerde su terazisine gerek yoktur. Su terazileri yaklaşık 10 m yüksekliğinde taş veya tuğladan örülmüş kulelerdir. (Şekil – 1.86). Kulenin tepesinde sandık adı verilen küçük bir havuz bulunur. Şebeke hattından gelen ve basınçlı su içeren boru düşey olarak bu havuzun tabanına açılır. Eğer debi ölçülmeyip yalnız basınç denetlenecekse ikinci bir düşey boru ile şebekeye su verilir. Su terazilerinin başlıca üç işlevi vardır:



Şekil – 1.86: Solda Şehzade Cemii avlusunda bulunan su terazisinin çizimi ve sağda Üsküdar Duvardibi'ndeki su terazisi. [Çeçen (1988), s. 64 ve 62].

1) Şebekedeki basınç denetlenerek aşırı basınçlar önlenir. Şebekedeki suyun basıncı su terazisinin üzerindeki sandığın

üst kotundan fazla olamaz. Yükseklik farkı 10 m dolayında olduğundan şebekedeki basınç da en fazla 1 atm olur.

2) Künkler içindeki su akımına engel olan hava birikimi önlenir. Bu nedenle engebeli arazilerde yaklaşık 200 m aralıklarla su terazileri yapılır.

3) Dağıtılan su miktarının ölçümünün yapılması istenilirse sandığın düşey duvarı üzerine lüleler yerleştirilir. Bu durumda ölçülen suyu toplayan küçük havuzların altındaki düşey borulardan şebekenin değişik kollarına su verilir.

Eski Roma döneminde su dağıtım sistemleri

Su kemerlerinden kente ulaşan su ana dağıtıcıya (maksem) gelir ve buradan dağıtılır. (Şekil – 1.87 — 1.94). Dağıtım konusunda Viruvius aşağıdaki açıklamayı yapmaktadır:[13]

> "Sular şehir surlarının bulunduğu yere ulaştığında, bir ana sarnıç (castellum) inşa edilsin; bu sarnıca bağlı suyu depolayacak üç bölmeli bir dağılım tankı olsun. Sarnıcın içine, birbiriyle bağlantılı bu üç bölme arasına eşit aralıklarla üç ana boru döşensin; öyle ki su yanlardaki tanklardan taştığında ortalarındakine akabilsin. Şehrin tüm sarnıçlarına ve çeşmelerine gidecek borular ortadaki bölmeye döşensin. İkinci bölmeden hamamlara giden borular çıksın; böyece devlete yıllık bir gelir getirmeleri sağlansın. Üçüncüsünden de özel konutlara dağıtım yapacak borular çıksın; böylece şehir suyunda azalma olmaz."

Gelen su miktarı yıl içinde mevsimlere göre değişikliğe uğradığından dağıtımda su alacak yerler üç gruba ayrılmıştır:

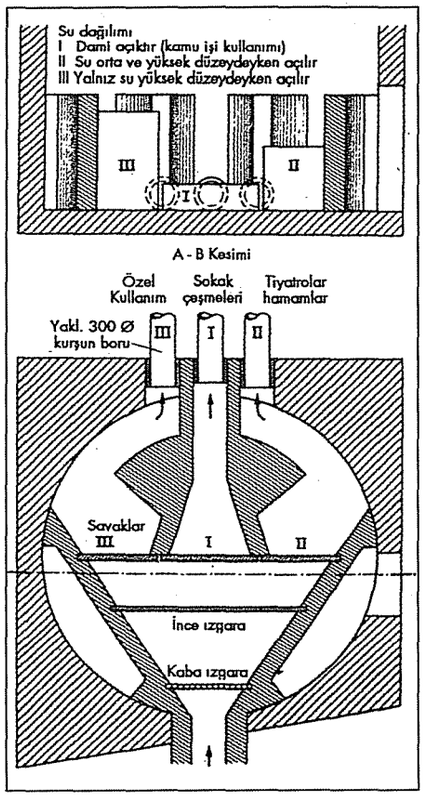
I) Kesintisiz su verilen sokak çeşmeleri ve kamusal yerler. Bunlar kamusal yaşam için önemlidir ve su ne kadar az olursa olsun buralarda suyun akması gerekir. Bu nedenle buralara ilişkin ana çıkış maksemin dibindedir.

II) İkinci derecede kamusal yerler ve anıtsal çeş-meler. Bunların ana çıkışı maksemin orta düzeyinde olup buralar ancak su orta veya yüksek düzeydeyken su alabilirler.

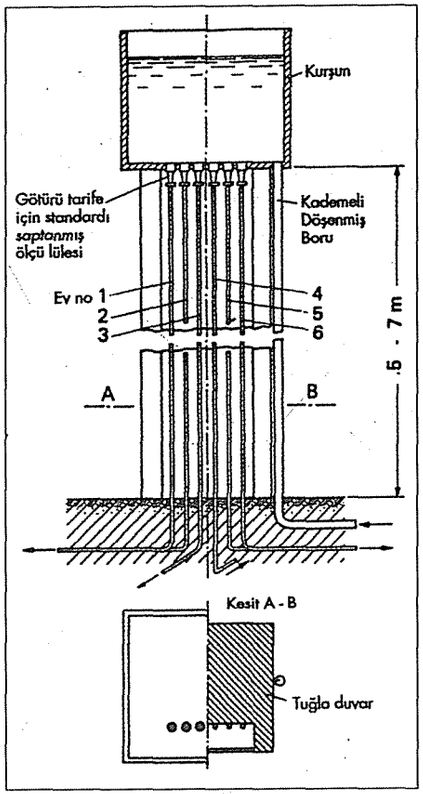
---

13 Vitruvius, s. 318.

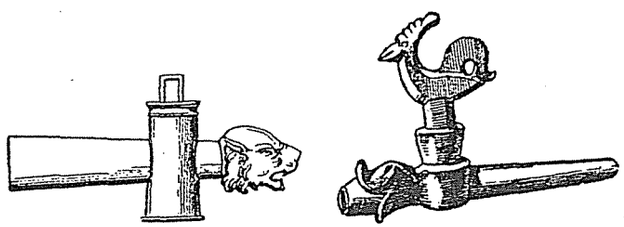
III) Konutlar. Bunların ana çıkışı yüksek olup ancak su düzeyi yüksek olduğu zaman su alabilirler.



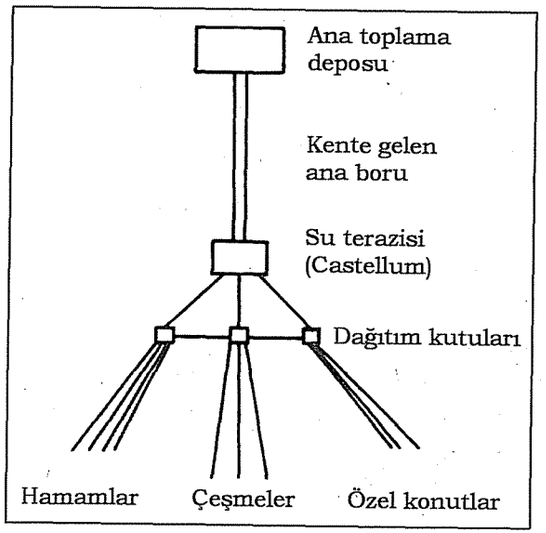
Şekil – 1.87: Pompei kentine su dağıtan ana maksemin kesiti ve üstten görünüşü. [Kretzchemer, s. 78].



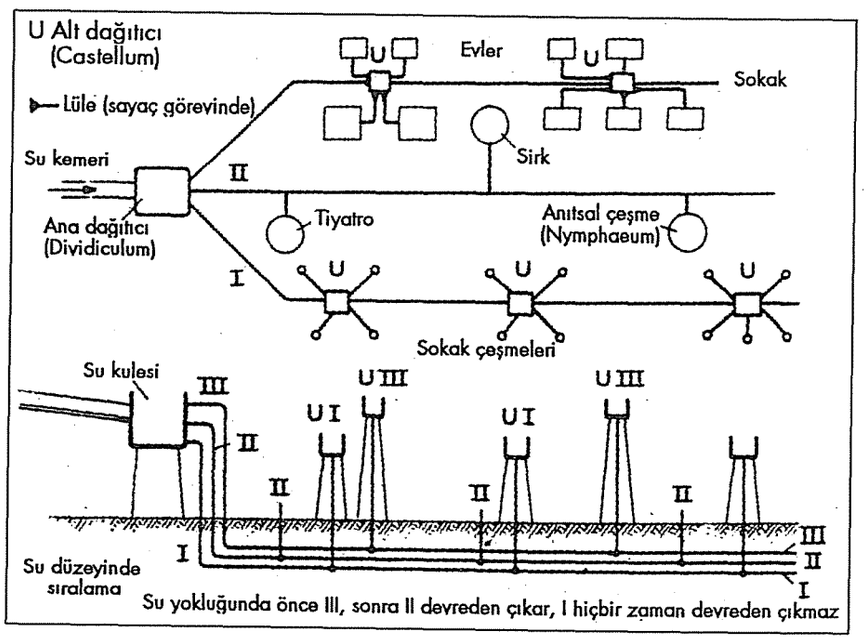
Şekil – 1.88: Bir su terazisi aracılığı ile özel abonelere su verilmesi. [Kretzchemer, s. 82].



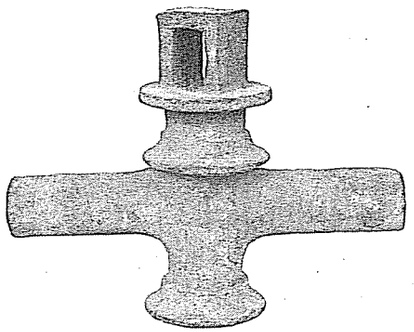
Şekil – 1.89: Roma dönemine ilişkin su muslukları. [Kretzchemer, s. 47].



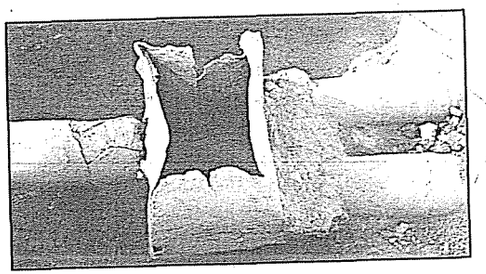
Şekil – 1.90: Roma kentlerinde suyun dağıtılışının genel şeması.



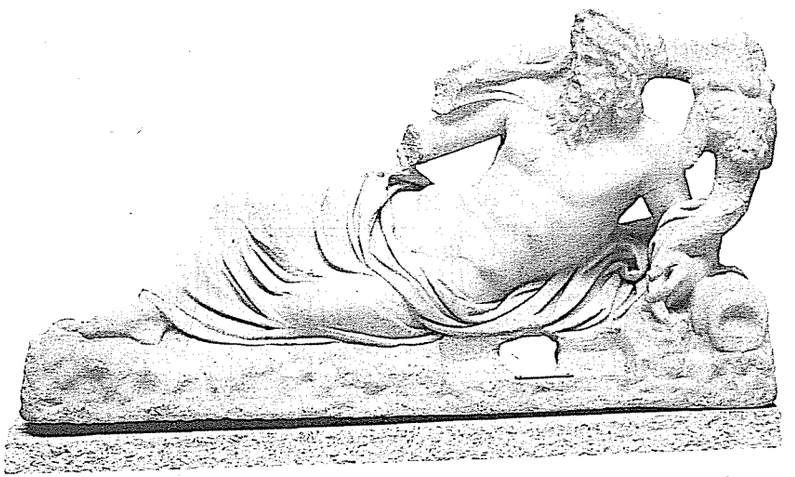
Şekil – 1.91: Roma döneminde kentlerde su dağıtım sisteminin ayrıntılı şeması. [Kretzchemer, s. 76].



Şekil – 1.92: Verilen suyu ayarlamak için İ.S. II. yüzyıla ilişkin bronz musluk. (20x25,5 cm; Madrit Arkeoloji Müzesi). [*Aqua Romana*, s. 207].



Şekil – 1.93: . İspanya'da Cordova'ya 109 km uzaklıktaki Sierra Morena'da bulunmuş İ.Ö. II. yüzyıla ilişkin toprak künklerin bağlandığı kurşundan yapılmış dağıtım kutusu. [*Aqua Romana*, s. 205].



Şekil – 1.94: Denizlerin ve aynı zamanda nehir ve suların tanrısı Okeanos. [*Aqua Romana*, s. 277].

Su debisinin ölçülmesi

Suyun dağıtımı şebekeye verilen suyun debisi ölçülerek buna göre yapılmıştır. Debi ölçümü suyu sabit basınç altında çapı standart olan bir borudan (lüle) akıtılarak yapılır. Osmanlılarda debi için temel birim olarak ***lüle*** alınmış ve bunun katları ile askatları kullanılmıştır. Bir lülenin debisi konusunda çeşitli kaynaklarda birbirinden farklı değerler verilmekle birlikte bu konudaki en güvenilir bilgi 1727'de İbrahim Usta'nın verdiği bilgidir. Buna göre, lüle ve askatlarının çapları belirli ağırlıktaki kurşun kürelerin çapları temel alınarak tanımlanmıştır. Lülenin askatları yarım lüle, kamış, masura, yarım masura, çuvaldız ve hilâldir. (Şekil – 1.95). Debi birimleri ve bunlara ilişkin akma borularının çapına eşit olan kurşun kürelerin ağırlıkları (Çizelge – 1.5)'de verilmiştir.

Bir Hilâl						
2	**Bir Çuvaldız**					
4	2	**Yarım Masura**				
8	4	2	**Bir Masura**			
16	8	4	2	**Bir Kamıs**		
32	16	8	4	2	**Yarım Lüle**	
64	32	16	8	4	2	**Bir Lüle**

Şekil – 1.95: Debi birimi lülenin askatları ve bunlar arasındaki ilişkiler. [Çeçen (1988), s. 185].

ÇİZELGE – 1.5
Çapı debi ölçen borunun çapına eşit olan kurşun kürelerin ağırlıkları
[Çeçen (1988), s. 185]

Debi birimi	Kurşun kürenin ağırlığı	
	Dirhem	Gram
Lüle	30	96,15
½ Lüle	11,5	36,86
Kamış	4,5	14,42
Masura	1,5	4,81
½ Masura	2,5 denk	
Çuvaldız	1 denk	

Bir lüleye karşılık olan akma borusunun çapı 30 dirhem ağırlığındaki bir kurşun kürenin çapına eşittir. 1 dirhem = 3,25 g ve saf kurşunun yoğunluğu d = 11,34 g/cm³ olduğuna göre kurşun kürenin kütlesi, $m = 30 \times 3{,}205\ g = 96{,}15\ g$ ve hacmı da $V = m/d = (96{,}15\ g)/(11{,}34\ g/cm^3) = 8{,}48\ cm^3$ dür. $V = 4\pi r^3/3$ bağıntısından,

$$r = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot V}{4\pi}} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 8{,}48\ cm^3}{4\pi}}$$

$$= \sqrt[3]{2{,}024\ cm^3} = 1{,}265\ cm$$

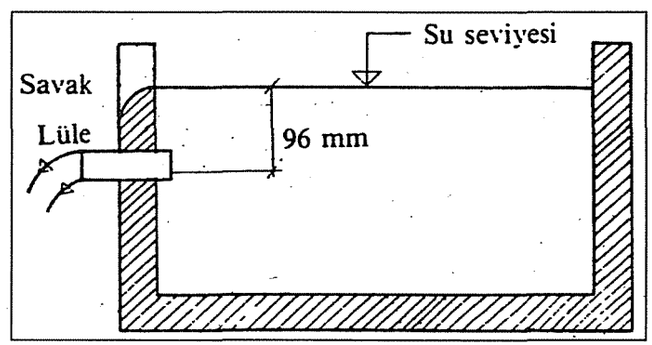
olarak bulunur. Buna göre, kürenin çapı $R = 2 \times 1{,}265 = 2{,}53\ cm$ olur. Bu değer Sular İdaresi tarafından 2,64 cm ve 1922'de Ali Talat Bey tarafından 2,60 cm olarak verilmiştir. Bu farklılıkların kurşunun saf olmaması nedeniyle yoğunluğunun daha düşük olmasından kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Buna karşılık debi için verilen 36 L/dakika değeri aynıdır. Buna göre, ***1 lüle'lik borunun çapı 2,60 cm ve debisi 36 L/dak = 52 m³/gün*** dür. Lülenin katları ve askatlarının çapları ve debileri (Çizelge – 1.6)'da verilmiştir.

İZELGE – 1.6
Lülenin katları ve askatlarının çapları ve debileri
[Çeçen (1988), s. 185]

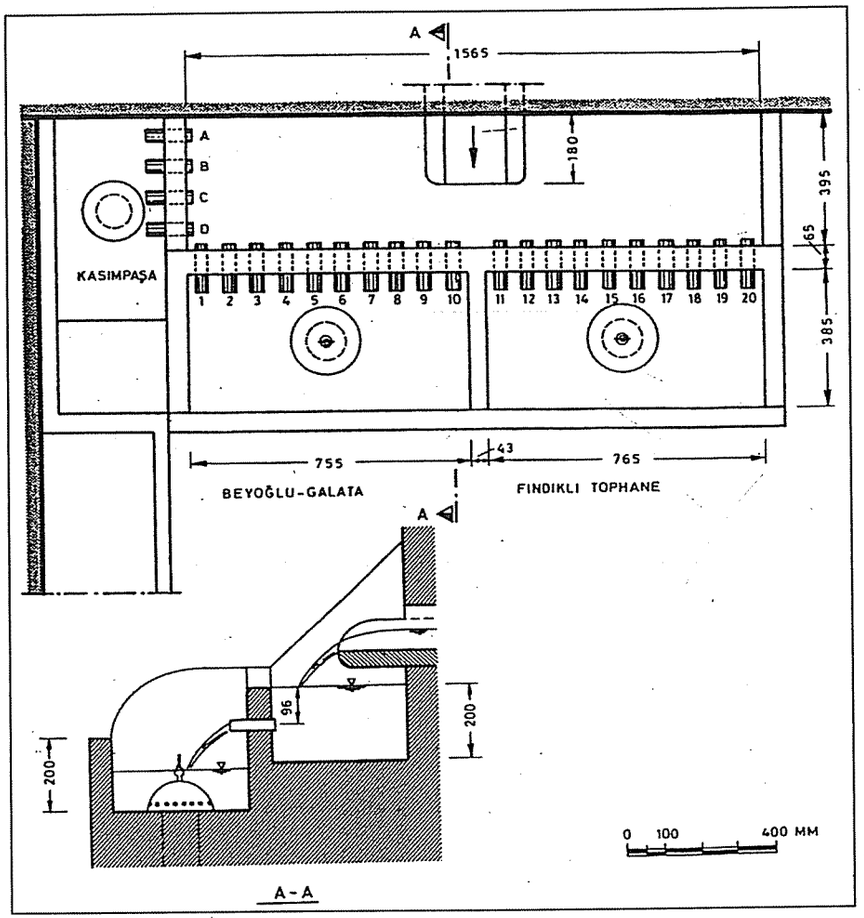
Debi birimi	Boru çapı (mm)	Debi (L/dak)
Sekizli lüle (8 lüle)	73	288
Dörtlü lüle (4 lüle)	52	144
Üçlü lüle (3 lüle)	45	108
Çift lüle (2 lüle)	36,7	72
Lüle (1 lüle)	**26**	**36**
1 Kamış	13	9
1 Masura	9,19	4,5
1 Çuvaldız	4,59	1,125

Su debisinin lüleler ile ölçülmesi

Su debisinin ölçülmesi için suyun lüleden sabit basınç altında akması gereklidir. Bunu sağlamak için dikdörtgen biçiminde geniş ve uzun taştan bir sandığın üzerine bir dolusavak düzenlenir. Bu savaktan ancak bir saman çöpünü sürükleyecek kadar (1 mm) suyun savaklanması sağlanarak sandık içindeki su düzeyi sabit tutulur. Sandığın bir kenarına debi ölçmede değişik çaplı kısa pirinç borular eksenleri su düzeyinden 96 mm aşağıda olacak biçimde yerleştirilir. Boruların iç yüzeyleri sandık yüzeyi ile aynı düzeyde veya biraz çıkıntılı olmalıdır. Debi ölçme düzeneği (Şekil – 1.96)'da görülmektedir.



Şekil – 1.96: Debi ölçmek için kullanılan ölçü sandığı.
[Çeçen (1988), s. 185].

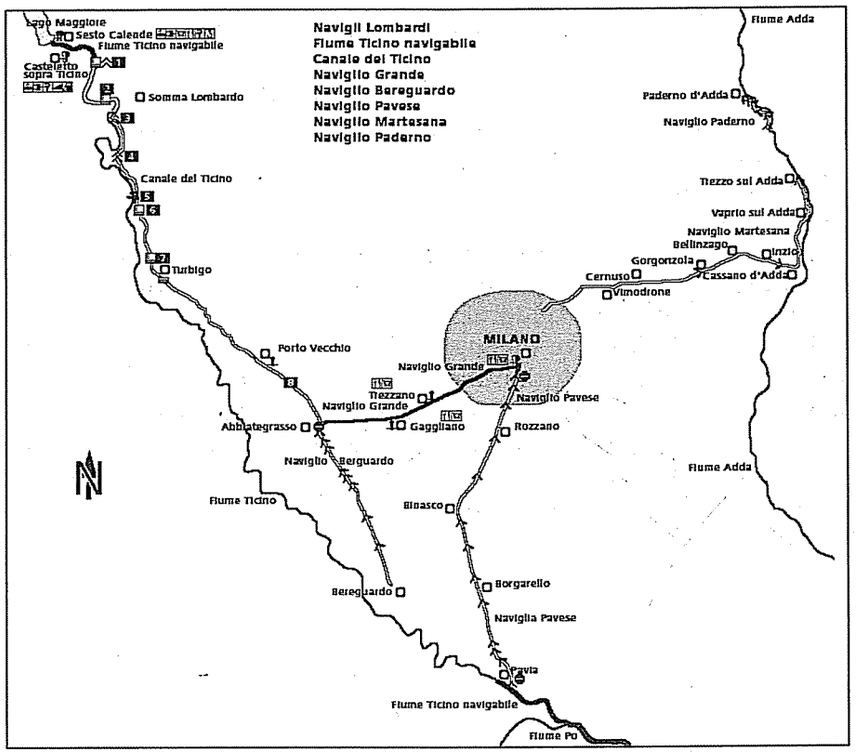


Şekil – 1.97: İstanbul'daki Taksim makseminin planı ve su dağıtımını sağlayan lüleleler. [Çeçen (1988), s. 185]. Taksim Meydanı adını suların burada taksim edilmesnden dolayı almıştır.

ULAŞIM YOLU OLARAK SU KANALLARI

Sulama amacıyla su kanallarının açılmasının geçmişi çok eskiye uzanır. Eski Çin, Hint, Mısır ve Mezopotamya uygarlıklarında sulama amacıyla kanalların açılmış olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte su kanalarının bir ulaşım yolu olarak kullanılmaya başlanması yani modern kanallar çağı Kuzey İtalya'da başladı. Avrupa'daki nehirlerin rejimlerinin düzgün olması bunların ulaşım için suyolu olarak kullanılmasının ve giderek kanallar ile birleştirilmesinin yolunu açtı. Milano ve diğer kuzey kentleri 1167'de Lombardia Birliği adı altında örgütlendiler. Milano kentinin çevresine yeni kale duvarları ve bunun önüne de geniş hendekler yepıldı. Gerekli su Maggiore Gölü'nden çıkıp Po Nehri'ne karışan Ticino Nehri'nden 25,6 km uzunluğunda bir kanal ile getirildi. Yapımı 1179 – 1257 yıllarını kapsayan, önceleri *Ticinello Kanalı* ve daha sonra *Naviglio Grande* olanrak adlandırılan bu kanal sulama ve ulaşım için de kullanılmaya başlandı. (Şekil – 1.98). Lombardia bölgesindeki kanalların sayısı giderek arttı. (Şekil – 1.99).

Şekil – 1.98: Günümüzdeki Milano'da şehir içinden geçen "Naviglio Grande"nin görünümü.

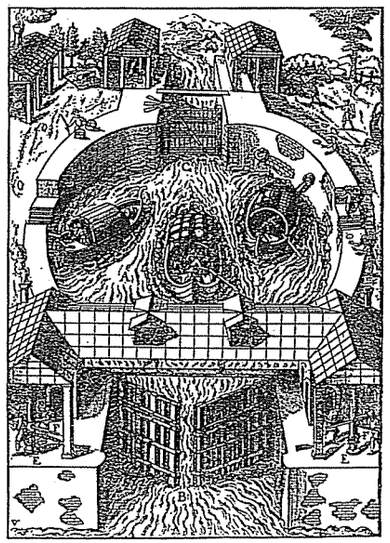


Şeikil – 1.99: Milano çevresindeki su kanalları.

Bir kanalın iki ucu arasında bir düzey (kot) farkının bulunması durumunda kanaldaki tekneleri ardarda dizilmiş ve düzeyleri birbirinden farklı olan havuzlardan sırasıyla geçirerek yükseltme veya indirme yoluna gidilir. Bu şekildeki kanal havuzu kavramı ilk kez İtalya'da ortaya çıktı. Leon Battista Alberti (1404 – 1472) (Şekil – 1.100) tarafından 1452'de yazılıp ölümünden sonra 1485'de basılan ve mimarlık üzerine ilk basılı kitap olan *De Re Aedificatoria*'da ilk kez kanal havuzunun tanımı verilmiştir. Milano Dükü Francesco Sforza, Bertola de Novate'yi (1410 – 1475) kanal mühendisi olarak atadı. Novarte 1452 – 1458 yılları arasında Bereguardo kanalını genişletti. İtalyan mühendis Vittoria Zonca'nın (1568 – 1603) ölümünden sonra 1607'de Padua'da yayınlanan *Nova Teatro di Machine et Edificii* adlı kitabında gelişmiş bir kanal

havuzu resmi verilmiştir. (Şekil – 1.101). Bir kanallar sistemi olan Venedik kenti de İtalyan kanal mühendisliğinin eseridir.

Şekil – 1.100: Kanal mühendisi Leon Battista Alberti (1404 – 1472).

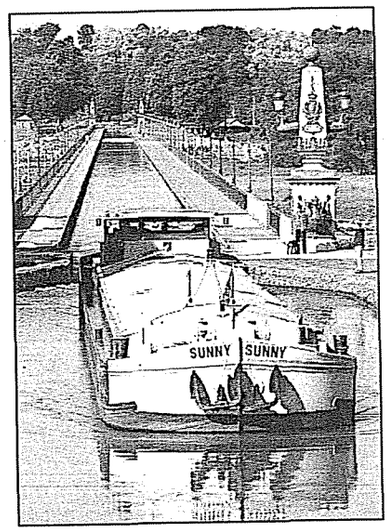


Şekil – 1.101: Vittorio Zonca'nın 1607'de basılan kitabındaki kanal yükseltme havuzu.

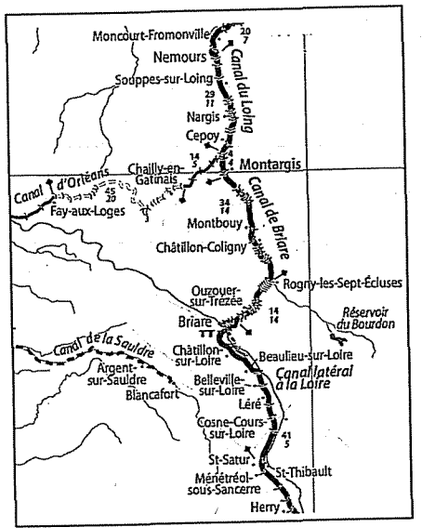
Fransa'da XVII. yüzyılda Loing (yukarı Seine) Nehri üzerindeki Montargis ile Loire Nehri üzerindeki Briare arasında bir ulaşım kanalı açılmasına girişildi. Toplam uzunluğu 54,5 km olan kanalın inşaatına 1604'de başlandı ve 38 yıl sonra 1642'de tamamlandı. Başlangıçta 48 yükseltme havuzu tasarlanmakla birlikte bu sayı daha sonra 41 olarak gerçekleşti. (Şekil – 1.102). *Canal de Briare* olarak anılan bu kanalın ardından açılan ve 21 yükseltme havuzu içeren *Canal d'Orléans* da 1718'de hizmete girdi. Bu şekilde ana nehirler birbirine bağlanarak bir ulaşım ağı kuruldu. (Şekil – 1.103, 1.104 ve 1.105).

XVIII. yüzyılda İngiltere'de giderek artan ticaret hacmı ve gelişmeye başlayan Sanayi Devrimi ulaşım sistemindeki gelişmeleri zorladı. Yeni yol yapım teknikleri eskiye oranla nitelikli yolların yapımını sağlamakla birlikte karayollarının bir bölümü paralı olduğu gibi karayolu taşımacılığı da pahalı,

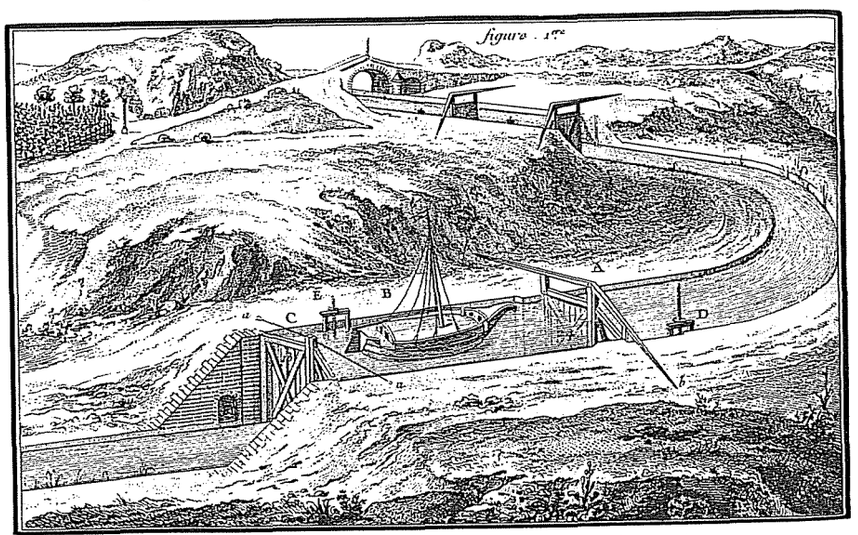
yavaş ve düşük kapasiteli idi. Bu nedenle taşımacılıkta başka ucuz yollar aramaya başlandı.



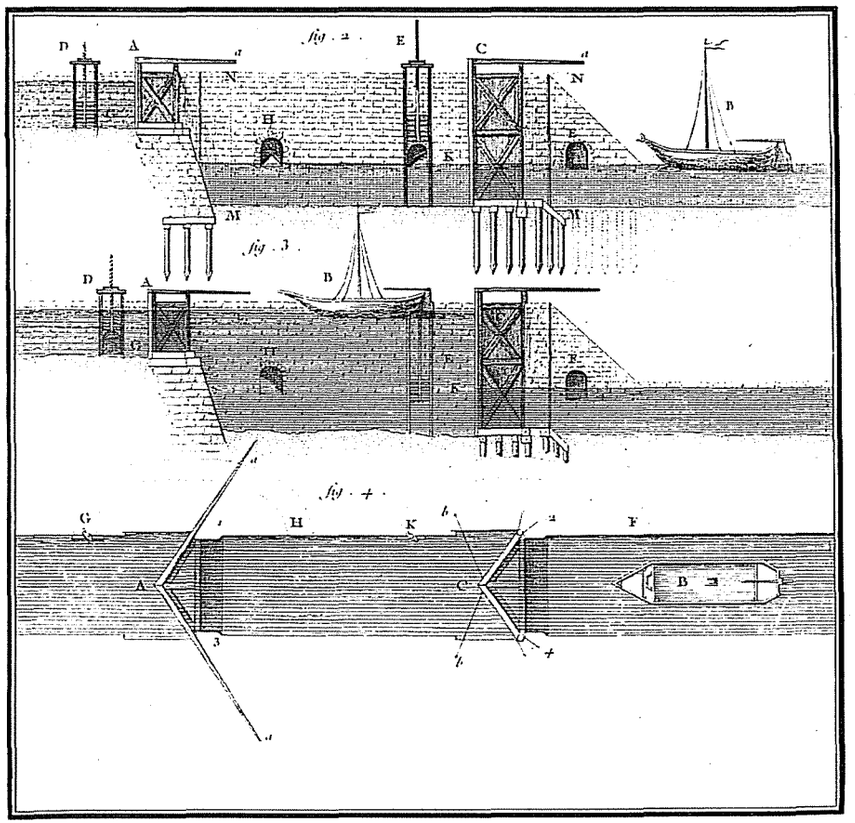
Şekil – 1.102: 1642'de açılan ve günümüzde de kullanılmakta olan Canal de Briare'dan bir görünümü.



Şekil – 1.103: 1642'de açılan Canal de Briare ve 1718'de açılan Canal d'Orléans ile bunlarla ilişkili kanallar.



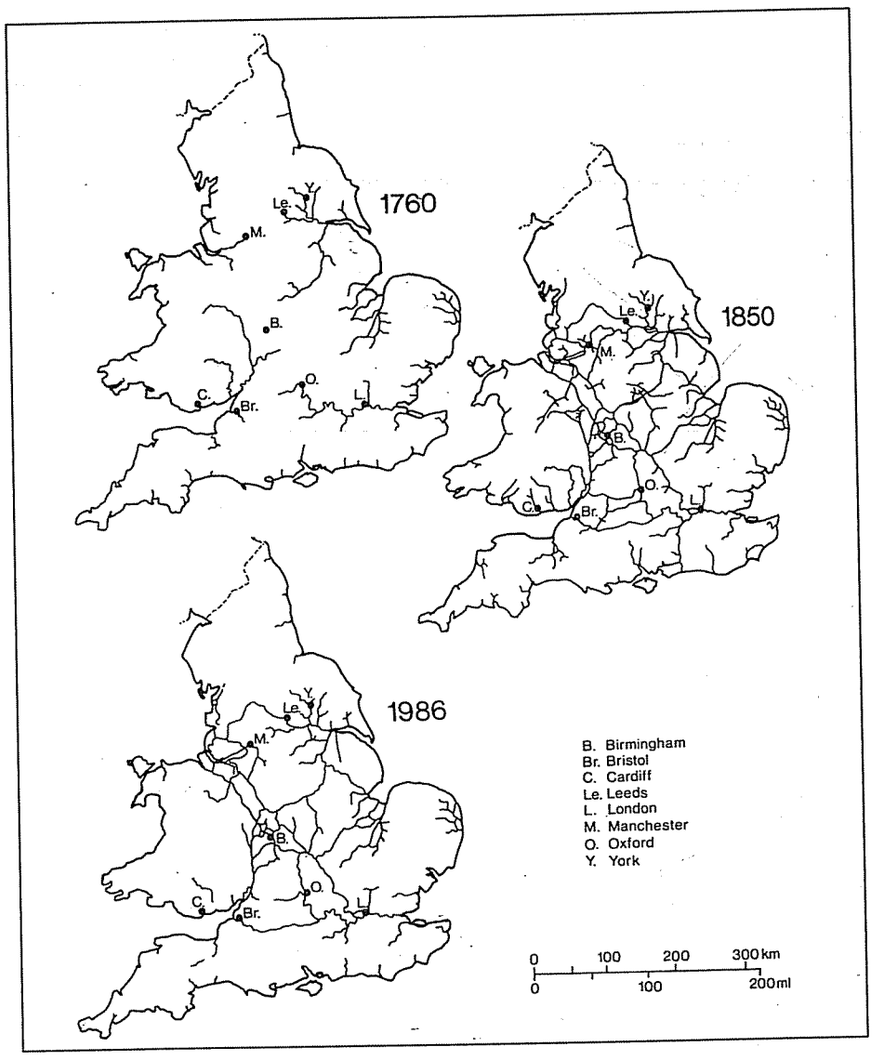
Şekil – 1.104: Briare Kanalı'nın yükseltme havuzları. [Diderot, II, Levha 479].



Şekil – 1.105: Briare Kanalı'nın yükseltme havuzlarının çalışması. [Diderot, II, Levha 479].

İngiltere'de XVII. yüzyılın sonlarından itibaren taş kömürü evsel yakıt olarak kullanılmaya başlandı. Ocaklardan çıkartılan kömürün kentlere ve limanlara ucuz olarak taşınabilmesi için su yollarına ve kanallara başvuruldu. İngiltere'deki akarsular düzenli bir rejime sahip olduklarından taşımacılık konusunda bunlardan yararlanıldığı gibi bunları kanallarla birleştirerek bir su yolu taşıma ağı kuruldu. Kanaldaki birkaç mavnayı kanalın kenarındaki yolda yürüyen bir at kolaylıkla çekerek götürüyordu. Karayolunda araba ile yapılan taşıma ile karşılaştırıldığında kanal taşımacılığının kapasitesi çok yüksekti ve çok ucuzdu. Kanallar başlangıçta ucuz yoldan kömür taşımayı hedefleyerek yapılmaya başlanmış olmakla birlikte daha sonraları her türlü mal ve

malzemenin taşınmasında kullanıldı. XVIII. yüzyılın sonuna gelindiğinde İngiltere'de toplam 2000 mil uzunluğunda su yolu vardı ve bunun üçte biri 1760 – 1800 döneminde yapılmıştı. (Şekil – 1.106).

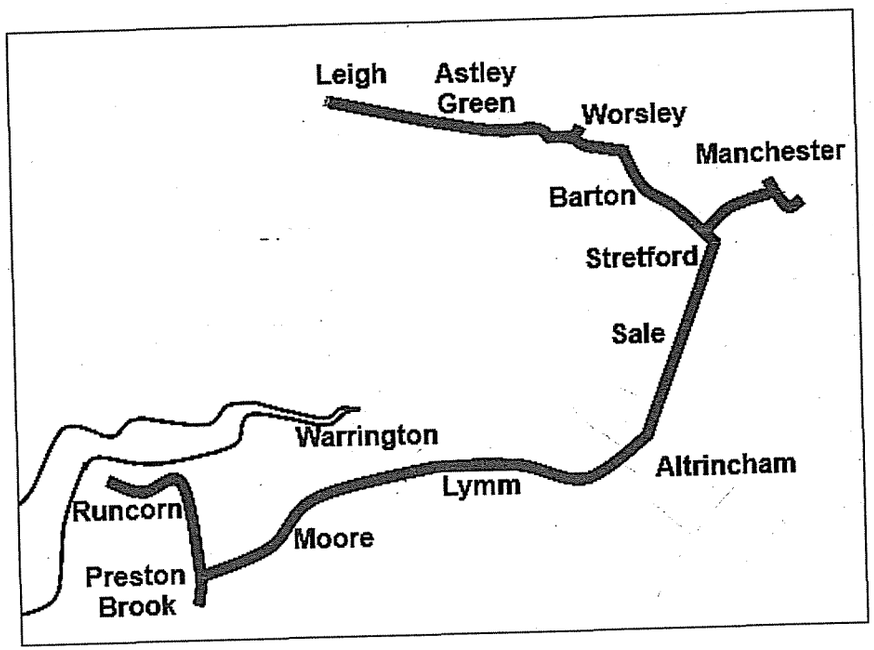


Şekil – 1.106: İngiltere ve Galler'deki ulaşımda kullanılan su yolları ve kanallar sisteminin 1760 – 1986 yılları arasındaki gelişim ve değişimi. [Cossons, s. 258].

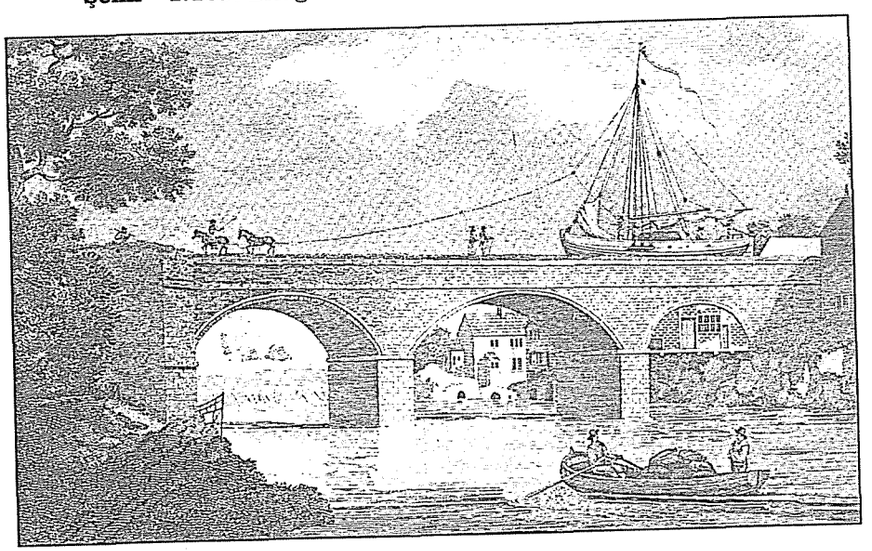
İngiltere'de XVIII. yüzyılın ikinci yarısında öne çıkan kanal mühendislerinden biri James Brindlay'dir (1716 – 1772). (Şekil – 1.107). Staffordshire'lı yoksul bir köylü çocuğu olan Brindlay mesleğine 1733'de henüz 17 yaşındayken araba tekerleği ve su çarkı yapımcısı Abraham Bennett'in yanında çırak olarak başladı. Bennett'in 1742'deki ölümü üzerine onun işini devam ettirdi. Su çarkı üzerinde yaptığı çalışmalar sonucunda kanatlarını inceltti ve bir makine olarak verimini arttırdı. Kendi kendini yetiştirmesi sonucunda giderek su teknolojisi alanında önde gelen bir mühendis durumuna geldi. Okuma ve yazma bilmemesine karşılık fotografik bir hafızası vardı ve sorunların çözümünde bundan yararlanırdı. 1759'da Bridgewater Dükü Francis Egerton (1736 – 1803) (Şekil – 1.108) adına onun Worsley'deki kömür ocaklarından çıkan kömürü Manchester'e taşımak için bir kanal inşa etmeye başladı ve bunu 1761'de tamamladı. Daha sonra bu kanal *Bridgewater Kanalı* olarak anılmaya başlandı. (Şekil – 1.109, 1.110, 1.111 ve 1.112).

Şekil – 1.107: James Brindlay (1716 – 1772)

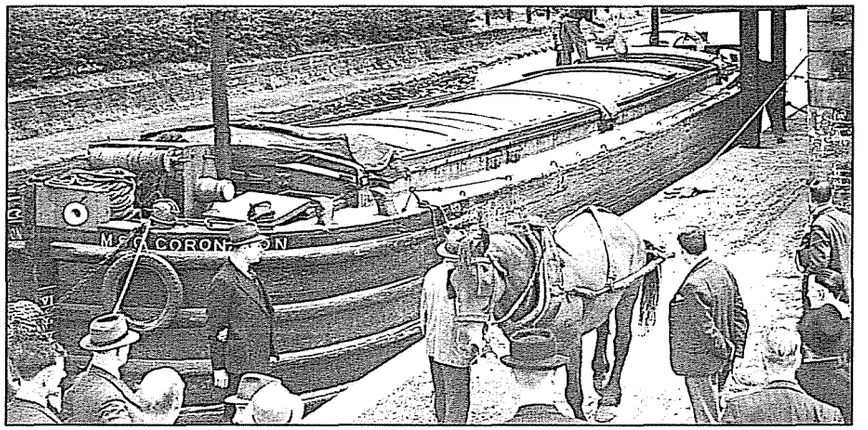
Şekil – 1.108: Bridgewater Dükü Francis Egerton (1736 – 1803)



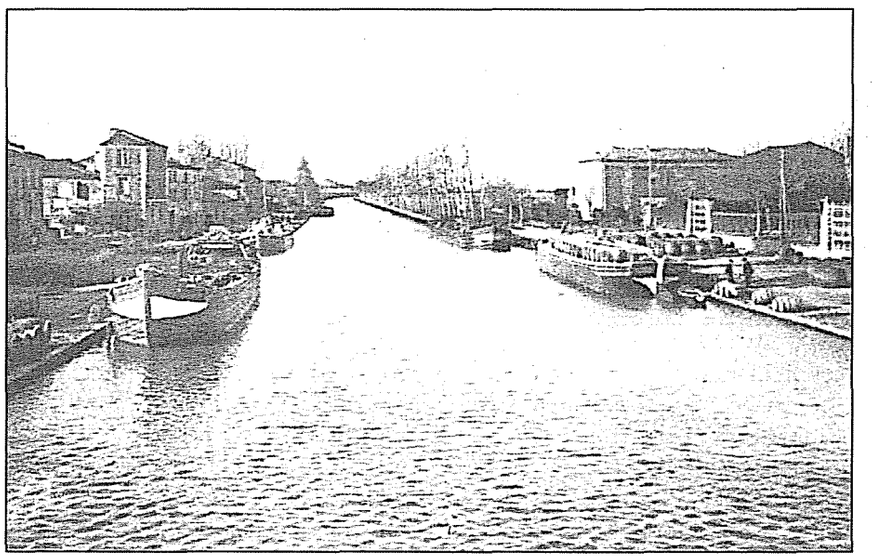
Şekil – 1.109: Bridgewater kanal sisteminin şematik konumu.



kil – 1.110: Bridgewater kanalını Irwell nehri üzerinden geçirmek için James Brindlay tarafından tuğladan inşa edilen köprü. [Patrick, s. 189].



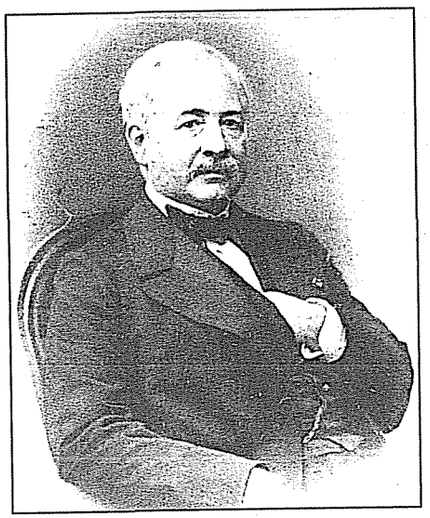
Şekil – 1.111: Bridgewater kanalından 1930'lara ilişkin bir görünüm.



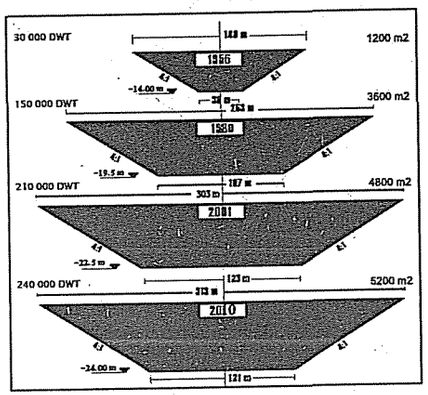
Şekil – 1.112: Bridgewater kanalından bir görünüm. Kanal günümüzde hem taşımacılık ve hem de turistik amaçlarla kullanılmaktadır.

Ülkelerin iç ulaşımlarını sağlamaya yönelik kanalların yanında denizleri birleştiren kanallar da açılmıştır. Amerika Birleşik Devletleri'nde büyük gölleri New York'a birleştiren 584 km uzunluğundaki *Erie Kanalı* 1817 – 1824 yılları arasında inşa edilmiştir. Fransız mühendis Ferdinand de Lesseps'in

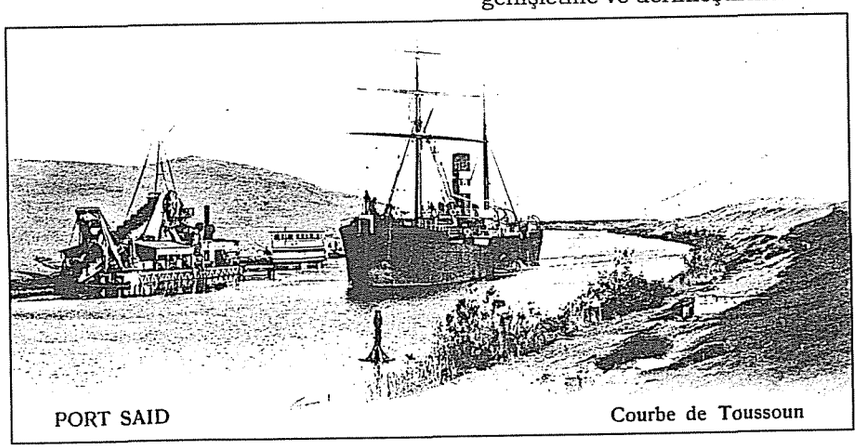
(1805 – 1894) (Şekil – 1.113) girişimi sonucunda Ak Deniz'i Kızıl Deniz'e bağlayan *Süveyş Kanalı*'nın inşaatına 1859'da başlanmış ve 1869'da tamamlanarak hizmete açılmıştır. Kanalda zaman içinde gemilerin giderek büyümesine paralel olarak genişletme ve derinleştirme çalışmaları yapılmıştır. (Şekil – 1.114, 1.115 ve 1.116).



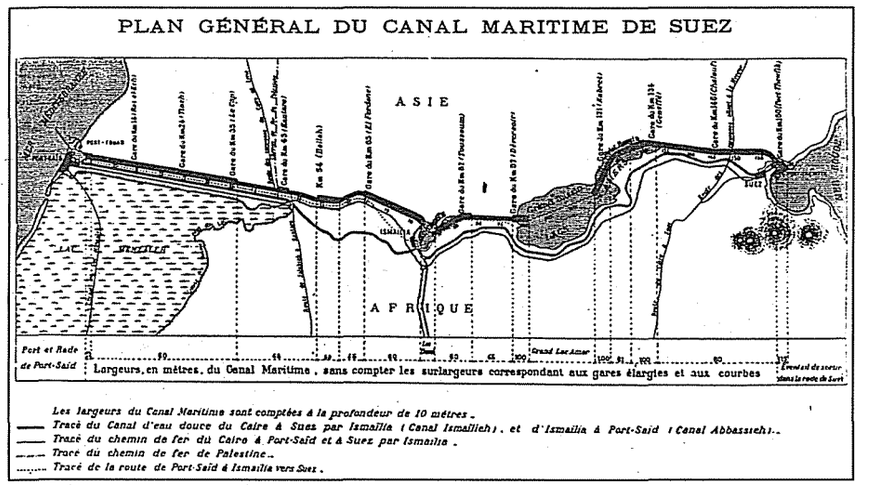
Şekil – 1.113: Ferdinand de Lesseps. (1805 – 1894).



Şekil – 1.114: Zaman içinde Süveyş Kanalı'nda yapılan genişletme ve derinleştirmeler.



Şekil – 1.115: XIX. yüzyıl sonlarında Süveyş Kanalı'ndan bir görünüm. [E. Dölen koleksiyonu].

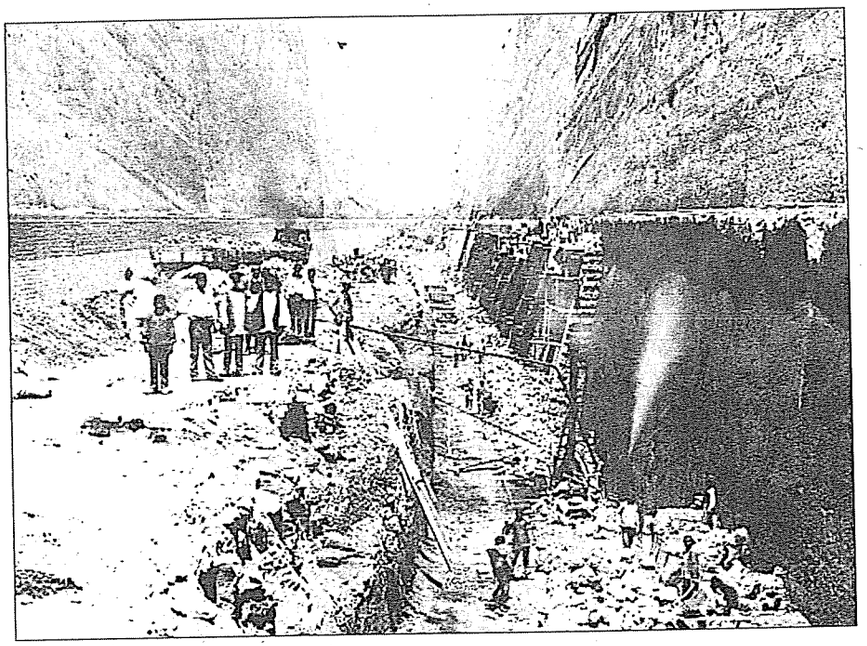


Şekil – 1.116: Süveyş Kanalı'nın eski bir planı.

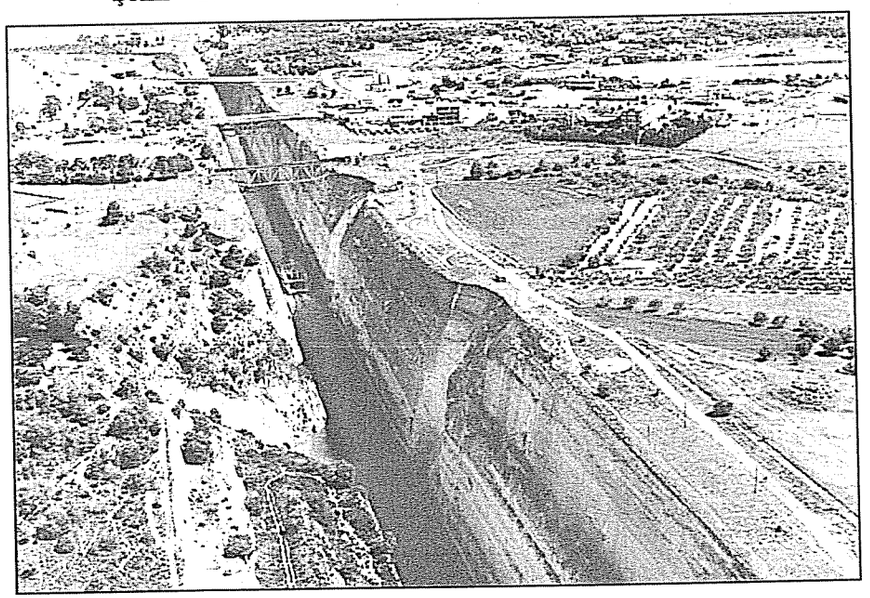
Ferdinand de Lesseps 1881'de Atlantik ve Pasifik Okyanuslarını birleştirecek olan 77 km uzunluğundaki Panama Kanalı'nın açılması için girişimde bulunarak işe başlamış ise de bu projeyi tamamlayamamıştır. Kanal daha sonra Amerika Birlişik Devletleri tarafından tamamlanarak 1914'de hizmete girmiştir.

Yunanistan'da Mora yarımadasını ana karadan ayıran ve Adriyatik Deniz ile Ege Denizi'ni birleştiren *Korint Kanalı*'nın açılmasına 1881'de başlanmış ve 1893'de tamamlanarak hizmete girmiştir. Kanalın boyu 6,5 km olup su düzeyinde genişliği 21 m ve derinliği de 8 m dir. Günümüzde ancak küçük gemiler tarafından kullanılabilmektedir. (Şekil – 1.117 ve 1.118).

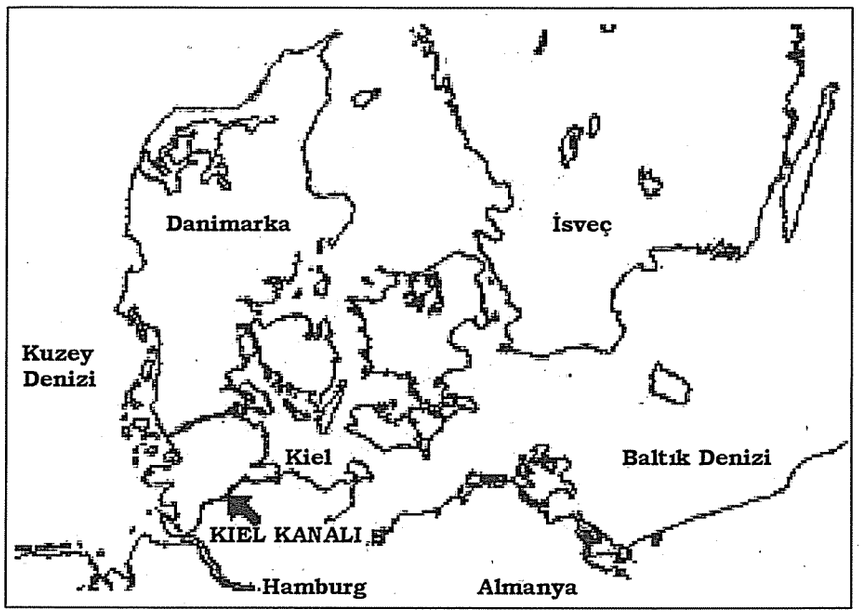
Almanya'da Kuzey Denizi ile Baltık Denizi'ni birbirine bağlayan 80,5 km uzunluğundaki *Kiel Kanalı*'nın inşaatına 1887'de başlanarak 1895'de tamamlanmıştır. Bu kanal özellikle savaş gemilerinin geçmesi için inşa edilmiş ve daha sonra daha büyük gemilerin geçebilmesi için genişletilmiştir. (Şekil – 1.119 ve 1.120).



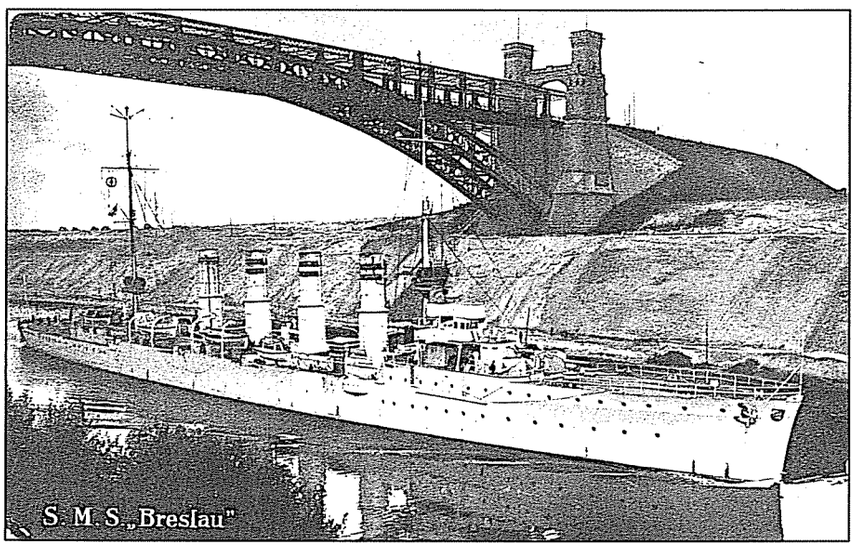
Şekil – 1.117: Korint Kanalı'nın açılışından bir görünüm.



Şekil – 1.118: Korint Kanalı'nın bir bölümünün havadan görünümü.



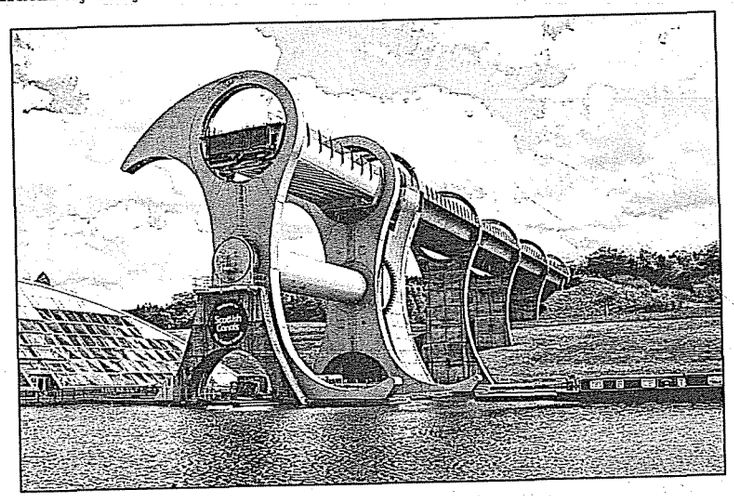
Şekil – 1.119: Kiel Kanalı'nın yerini gösteren harita.

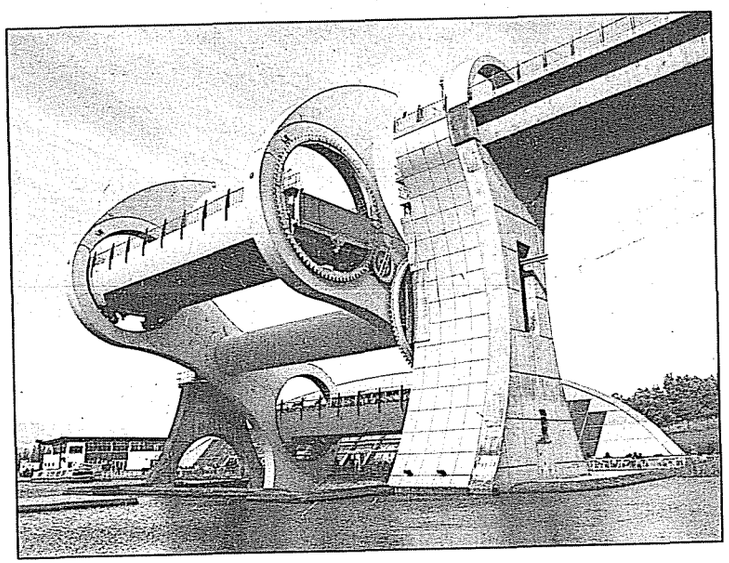


Şekil – 1.120: Daha sonra 1914'de Türkiye'ye gelerek Midilli adını alacak olan Alman hafif kurvazörü Breslau Kiel Kanalı'ndan geçerken. [E. Dölen koleksiyonu].

Falkirk Wheel [Falkirk Çarkı]

Edinburgh ile Glasgow'u birbirine bağlayan Forth ve Clyde kanalları arasındaki kot farkı 11 yükseltme havuzu ile geçilirken kesintisiz ulaşımı sağlamak için tekneleri 35 m yükseye kaldıran veya buradan indiren bir kaldıraç tipi asansör yapılmış ve 24 Mayıs 2002'de Kraliçe Elizabeth tarafından açılmıştır.





BÖLÜM – 2

SUYUN YÜKSELTİLMESİ

SUYUN YÜKSELTİLMESİNİN ÖNEMİ

Suyun bulunduğu düzeyden daha yüksek bir düzeye çıkartılması veya başka bir deyimle suyun yükseltilmesi geçmişte suyun iletimi kadar önemli bir sorun olduğu gibi günümüzde de önemini korumaktadır.[1] Başlangıçta sulama veya evsel kullanım amaçlı olarak suyun kuyulardan veya nehirlerden yükseltilmesi söz konusu iken daha sonraki dönemde maden ocaklarının giderek derinleşmesi sonucunda ocaklarda biriken yeraltı suyunun dışarı atılması da gündeme gelmiştir. Maden ocaklarının daha derinleştirilebilmesi suyun dışarı atılmasına doğrudan bağlıdır. Bu nedenlerle suyun yükseltilmesi insan yaşamında çok önemli bir yere sahiptir. Teknolojik gelişmeye baktığımızda XVIII. yüzyılda buhar makinesine giden yoldaki ilk basamaklar olan Thomas Savery'nin buharlı pompasının ve Thomas Newcomen'in buhar makinesinin madenlerdeki suyu çekmek için hemen uygulama alanına girdiğini görmekteyiz.

KALDIRAÇ SİSTEMİ (SEREN VEYA ŞÂDUF)

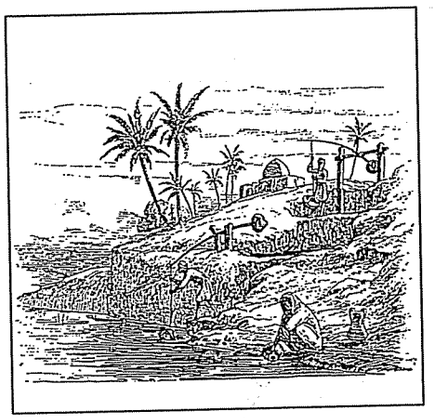
Suyun yükseltilmesi için kullanılan en eski ve en basit yöntem desteği ortada olan bir kaldıraç sistemidir. Kaldıraç sistemi büyük olasılıkla Mezopotamya ve/veya Mısır'da bulunmuş ve bu bölgelerde yaygın olarak kullanılmıştır. (Şekil – 2.1 ve 2.2). İ. Ö. VI. yüzyıla ilişkin Yunan vazolarında bu aletin resimlerine rastlanılır. Bu tür kaldıraçların Yunanca adı

---

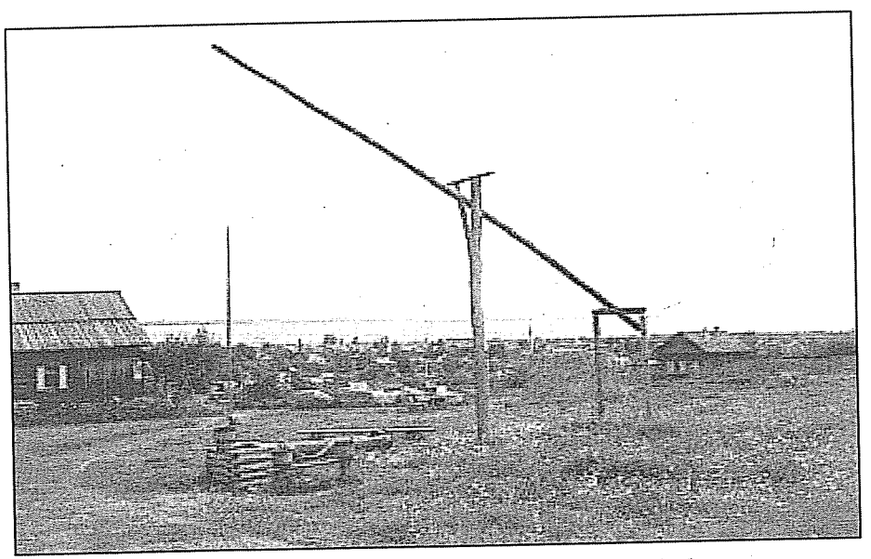
1 Emre Dölen, *Su Yapıları ve Değirmenler*, İ.T.Ü. Fen – Edebiyat Fakültesi, İstanbul 2006, s. 1.

keloneion ve Latince adı da *ciconia* (leylek) veya *tolleno* (kaldıraç) dır. Arapçada *şâduf* ve Anadolu'da *seren* adı verilir. Bu sistemlere günümüzde bile dünyanın çeşitli yerlerinde ve Anadolu'da rastlanmaktadır. (Şekil – 2.3).

Şekil – 2.1: Bir Mısır mezar resminde şâduf ile sulama yapan bir köylü ve köpeği. [Thebes, İ.Ö. 1300; Bir, Acar ve Kaçar, s. 22].



Şekil – 2.2: Eski Mısır'da suyu kuyu veya nehirden çıkarmak için kullanılan şâduf (kaldıraç) sistemleri. (Usher, s. 123].



Şekil – 2.3: Bir kaldıraç sistemi. Burada kaldıracın kova bulunan ucunun çok yukarı çıkmasını önlemek için kaldıracın arka tarafının altına bir destek konulmuştur.

Kaldıraç kolu kuyu veya su kaynağının yaklaşık 3 m uzağına dikilmiş olan ucu çatallı ve genellikle üç ayaklı bir desteğin üzerine oturtulmuştur. Kaldıracın bir ucu kuyunun tam üzerinde olup bu ucuna yukarda olduğu durumda yerden 1 m kadar yüksekte olacak biçimde iple bağlanmış bir su kovası vardır. Daha az kuvvetle hareketi sağlayabilmek için kaldıracın diğer ucuna bir karşı ağırlık konulmuştur. Kaldıracın ucundaki su kovası ip çekilip kaldıraç eğilerek kuyu veya nehirdeki suya sokulup doldurulur ve ardından ip serbest bırakıldığında karşı ağırlığın etkisi ile kaldıraç yukarı doğru hareket ederek kovayı yukarı çıkartır. Kovadaki su bir başka kaba veya kanala elle boşaltılır. Bu aleti kullanmak çok kolay olmamakla birlikte ucunda ağırlık bulunan bir ipi yukarıya doğru uzanıp aşağıya doğru çekmek, ucunda dolu bir kova bulunan bir ipi aşağıya uzanıp yukarı doğru çekmekten daha kolaydır. Ayrıca, kaldıracın kovanın bağlı olduğu tarafı daha uzun olduğundan kovayı indirirken karşı ağırlığı kaldırmak için gerekli olan kuvvet karşı ağırlıktan daha azdır. Su kaynağının yüzeyinin derinliği arttıkça kaldıracın boyunu uzatmak gerekir ve bunun da bir sınırı vardır.

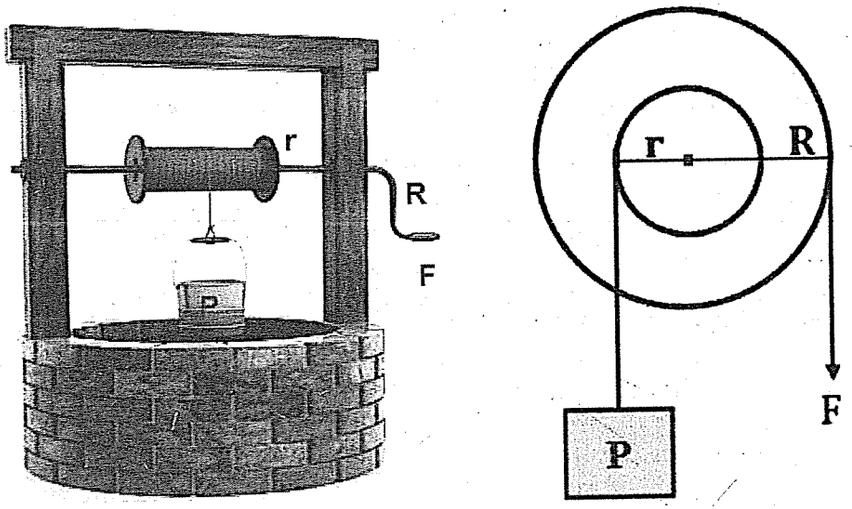
ÇIKRIK

Özellikle derin kuyulardan su çekmek için çok eskiden beri bir basit makine olan çıkrık kullanılagelmiştir. (Şekil – 2.4, 2.5 ve 2.6). Çıkrıkta kaldırılan yük ***P***, çıkrık silindirinin yarıçapı ***r***, çıkrık kolunun uzunluğu ***R*** ve uygulanan kuvvet de ***F*** olmak üzere,

$$P \times r = R \times F \rightarrow F = P \times (r/R)$$

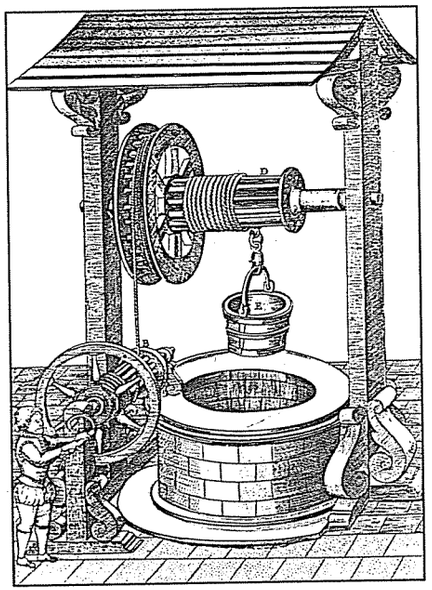
yazılabilir. Buna göre, çıkrık silindirinin yarıçapı ne kadar küçük ve çevirme kolu da ne kadar uzun ise uygulanan kuvvet de o oranda azalır. Bununla birlikte yapılan toplam iş miktarı değişmez.

Çıkrık derin kuyulardan su çekmek için kullanıldığı gibi gerek su kuyularının ve gerekse maden ocaklarının kazılması ve işletilmesi sırasında da yaygın olarak kullanılmıştır.



Şekil – 2.4: Bir çıkrık ve etkili olan kuvvetler.

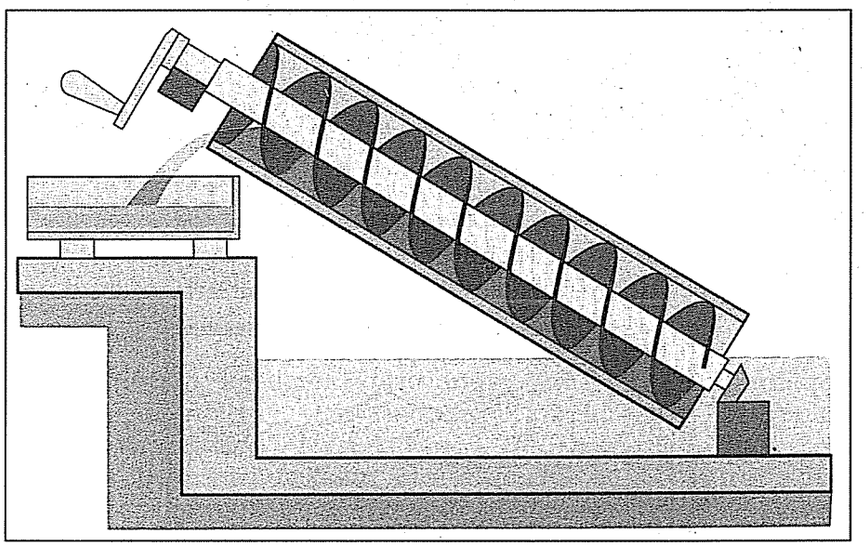
Şekil – 2.5: Bir çıkrık.



Şekil – 2.6: Derin bir kuyudan kolaylıkla su çekmek için çift çıkrıklı makine. [Ramelli, s. 211/Levha 75].

ARKHİMEDES VİDASI

Arkhimedes vidası veya su burgusu bir boru içine yerleştirilmiş sonsuz bir vidadan oluşur. (Şekil – 2.7 ve 2.8). Boru bir ucu suya girecek biçimde eğimli olarak yerleştirilir ve vida döndürüldükçe su borunun üst ucundan akar. Vida bir kol yardımıyla elle veya küçük bir su çarkı ile döndürülebilir. (Şekil – 2.9). Bu aracın İ.Ö. III. yüzyılda Arkhimedes (İ.Ö. 288 – 212) (Şekil – 2.10) tarafından bulunduğu söylenmekle birlik-te bunu kanıtlamak mümkün olmadığı gibi çok daha önceki dönemlerde bulunmuş da olabilir.

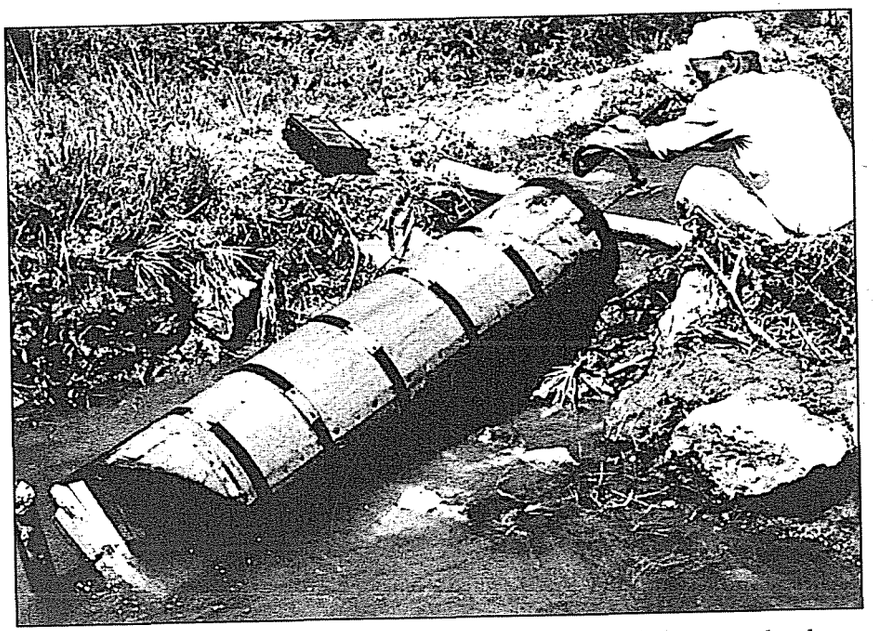


Şekil – 2.7: Yunanca "cochlias" ve Latince "cochlea" olarak adlandırılan bir Arkhimedes vidasının kesiti ve çalışma biçimi.[Bir, Acar ve Kaçar, s. 23].

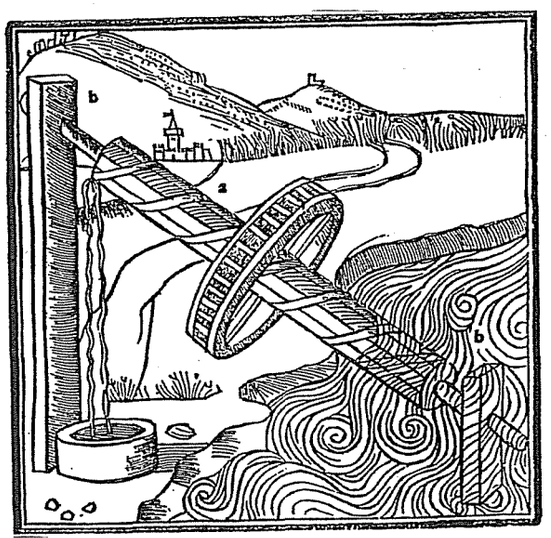
Arkhimedes vidasının nasıl yapılacağı Vitruvius tarafından ayrıntılı bir biçimde anlatılmıştır.[2] Bunun için bir kütük alınarak tam silindir biçimine getirilir. Daha sonra bir pergel yardımıyla silindirin tabanı sekize bölünür ve silindirin yüzeyine boydan boya sekiz çizgi çizilir. Ardından silindirin üzerine boyuna çizgilerin arasındaki aralığa eşit aralıklarla enine çizgiler çizilir. (Şekil – 2.11 ve 2.12).

---

2 Vitruvius, *Mimarlık Üzerine,* Çeviren Çiğdem Dürüşken, 3. baskı, İstanbul 2018, s. 392 – 394.



Şekil – 2.8: Mısır'da Nil deltasında 1960'lı yıllara kadar yaygın olarak kullanılan bir Archimedes vidası. [Bir, Acar ve Kaçar, s. 23].

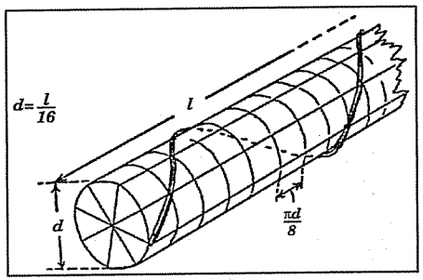


Şekil – 2.9: Su çarkı ile çalışan Arkhimedes vidası. Ortadaki su çarkı döndükçe sonsuz vida da döner ve suyu yukarı çıkartır. (Vitruvius'un 1511'de yapılan ilk resimli baskısından). [Finch, s. 39].

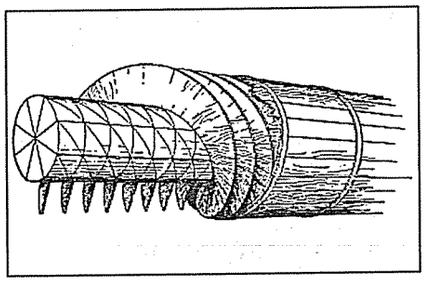
Şekil – 2.10: Arkhimedes'in büstünün ve burgusunun resmini içeren 1983 yılına ilişkin İtalyan posta pulu.

Söğütten kesilerek hazırlanan şeritler katranlandıktan sonra silindirin üzerindeki karelerin köşegenleri doğrultusunda üst üste yapıştırılır. Bu işlem silindirin toplam kalınlığı boyunun sekizde biri oluncaya kadar sürdürülür. Elde edilen burgunun çevresi katranlanmış tahtalar ile silindir biçiminde kaplanır, dağılmaması için üzerine demir çemberler geçirilir ve iki ucuna demir eksenler geçirilerek iki direk arasına yerleştirilir. "Bu burgu Pythagoras'ın dik açılı üçgeninde tarif edilen eğime uygun bir eğimle yerleştirilmelidir; yani uzunluğu beş birime ayrılmalı, bunun üç birimi burgunun tepesindeki yüksekliğe verilmelidir. Böylece dikeyden dipteki ağza kadar olan mesafe dört birim olur."[3]

3 Buna göre burgunun yatayla yaptığı açı için $\cos \alpha = 4/5 = 0{,}8$ yazılır ve buradan $\alpha = 41^0$ olarak bulunur. Bununle birlikte çok farklı eğimlerin kullanılmış olduğu anlaşılmaktadır.

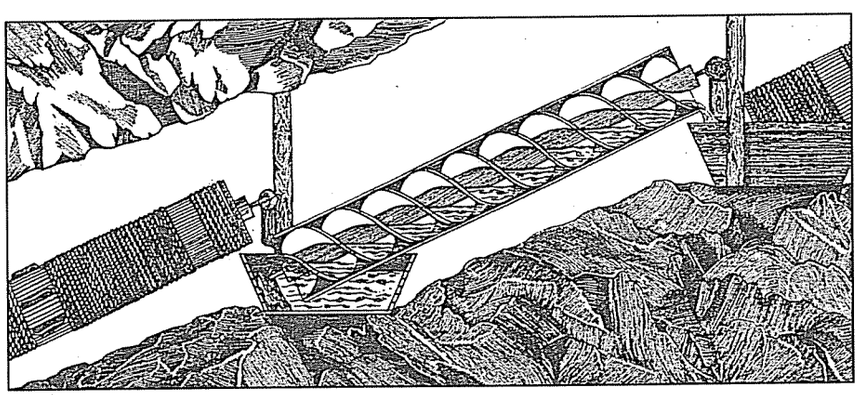


Şekil – 2.11: Vitruvius'a göre burgunun yapılması için eksen olarak kullanılacak kütüğün boyutları ve üzerinin çizilmesi. [Landels, s. 58]

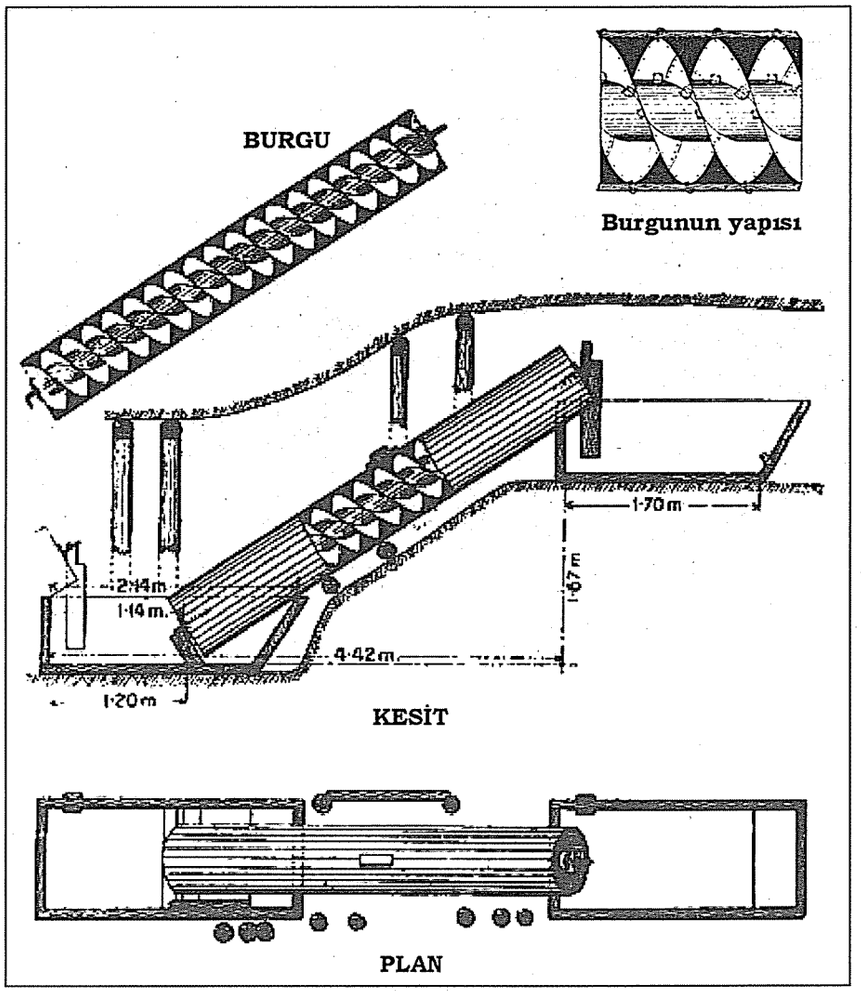


Şekil – 2.12: Vitruvius'a göre eksen olarak kullanılan kütüğün üzerindeki çizimler ve buna göre yapılmış olan burgu. [Vitruvius, s. 392].

Archimedes vidalarının elle çevrildiği gibi basamaklar yardımıyla ayakla da çevrildiği anlaşılmaktadır. Arkhimedes vidası çok dik olarak kullanılamadığından yaklaşık 5 m boyunda bir vida ile su ancak 1,5 m kadar yükseltilebilir. Özellikle madenlerde suyu daha yükseğe çıkarmak için Roma döneminde Arkhimedes vidaları seri olarak dizilerek kullanılmıştır. (Şekil – 2.13 ve 2.14). Agostino Ramelli de üçer Arkhimedes vidasından oluşan ve su çarkı ile çalışan tasarımlar vermiştir, (Şekil – 2.15).



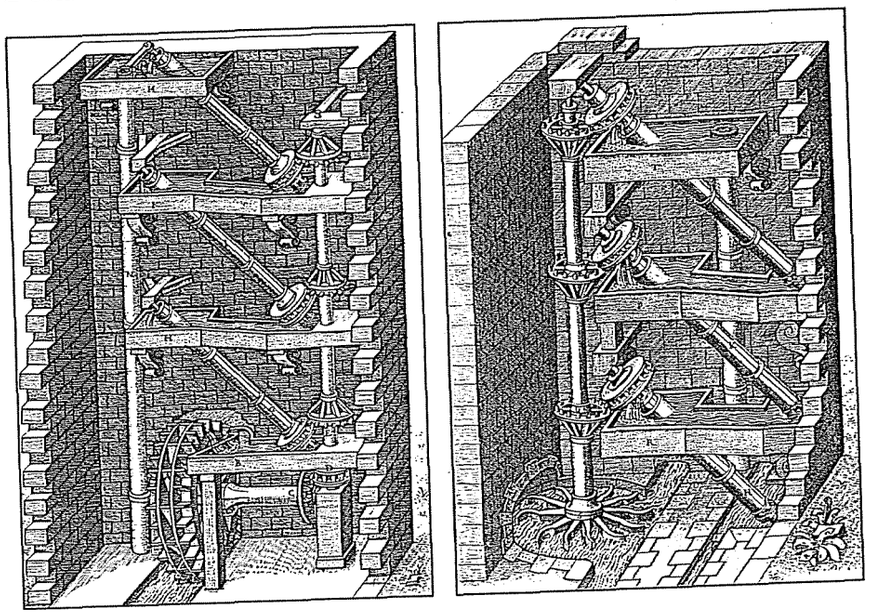
Şekil – 2.13: Roma döneminde (İ.S. 200) İspanya'daki Centenillo kurşun ve gümüş madenlerinde suyu boşaltmak için kullanılan Arkhimedes vidaları sistemi. Her birinin boyu 5 m olup suyu 1,5 m yükseltir ve bu yolla 210 m derinlikten su çıkartılmıştır. [Klemm, s. 38].



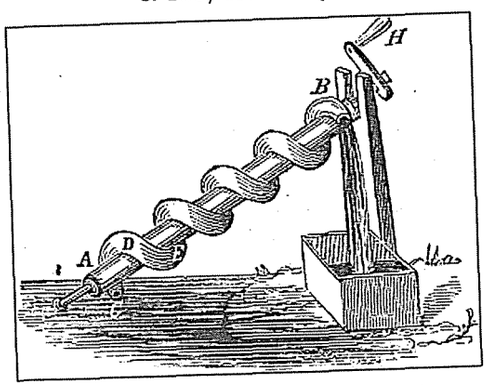
Şekil – 2.14: Roma döneminde İspanya'daki Centenillo kurşun ve gümüş madenlerinde suyu boşaltmak için kullanılan Arkhimedes vidaları sisteminin ölçüleri. [Suhling, s. 64].

Bir Archimedes vidasının boyunun 2,4 m ve çapını da 0,3 m olduğunu varsayarak ve bunu Vitruvius'un önerdiği biçimde yerleştirirsek suyu 1,16 m yüksekliğe çıkartabiliriz. Bir insanın gücü 0,1 beygir gücüdür. Sürtünme ve enerji kayıplarını göz önüne alırsak 0,1 beygir gücünde bir işletme gücü için verimlilik % 40 – 50 arasındadır. Dakikada % 40

verimlilikle 160 L ve % 50 verimlilikle 200 L su yükseltilebileceğine göre bunun karşılığı saatte 9.600 – 12.000 L olur ve bu da küçümsenecek bir miktar değildir.[4]



Şekil – 2.15: Bir kaynaktan veya nehirden suyu yükseltmek için yatay ve dikey su çarkları ile çalışan ve seri olarak bağlanmış üçer Arkhimedes vidasından oluşan makineler. [Ramelli, s. 153/Levha 47 ve s. 155/Levha 48].



Şekil – 2.16: Çalışması mümkün olmayan bir burgu tasarımı.

4 J. G. Landels, *Eski Yunan ve Roma'da Mühendislik*, Çeviren Barış Bıçakcı, Ankara 1996, s. 63.

ZİNCİRLİ SU DOLAPLARI

Zincirli su dolapları bir silindir üzerine yerleştirilmiş ve silindirin döndürülmesiyle hareket eden zincirlerden oluşur. Zincirin üzerine belirli aralıklarla küçük kaplar bağlanmıştır. Zincir suyun içinden geçerken üzerindeki kaplar dolar ve tepe noktasına gelen kaplardaki su kendiliğinden bir kanala boşalır. Bu tür zincirli su dolapları büyüklüklerine göre elle, hayvan gücüyle veya bir su çarkı yardımıyla çalıştırılabilir. Genel olarak hayvan gücü ile çalıştırılanlara Ortadoğu'da *sakiya* adı verilir. (Şekil – 2.17 — 2.22). Vitruvius bu konuda aşağıdaki bilgiyi vermektedir.[5]

> "Çok daha yüksekteki yerlere su temin etmek gerekiyorsa o zaman bu tekerleğin[6] aksında dönecek bir galonluk[7] tunç kovaların asılı olduğu çift kat demir bir zincir yerleştirin ve epey bir aşağıya salın.[8] Tekerlek çevrildikçe, zincir aksın etrafında döndüre dönrdüre kovaları ta tepeye çıkaracak, kovalar da aksın üzerine geldikleri zaman mecburen içe dönüp yukarı çıkardıkları suyu bir tanka boşaltacaklardır."

Zincirli su dolapları ile istenilen derinlikten su çekilebilir. Ancak derinlik arttıkça zincirin ve üzerinde taşıdığı suyun ağırlığı artacağından bunların çalıştırılması için büyük güç kaynaklarına gerek olması nedeniyle derinlik kendiliğinden sınırlanır. Ayrıca, kepçelerin düzgün bir biçimde boşalabilmesi için arasındaki mesafe dingilin çapının en az yedi katı olmalıdır.

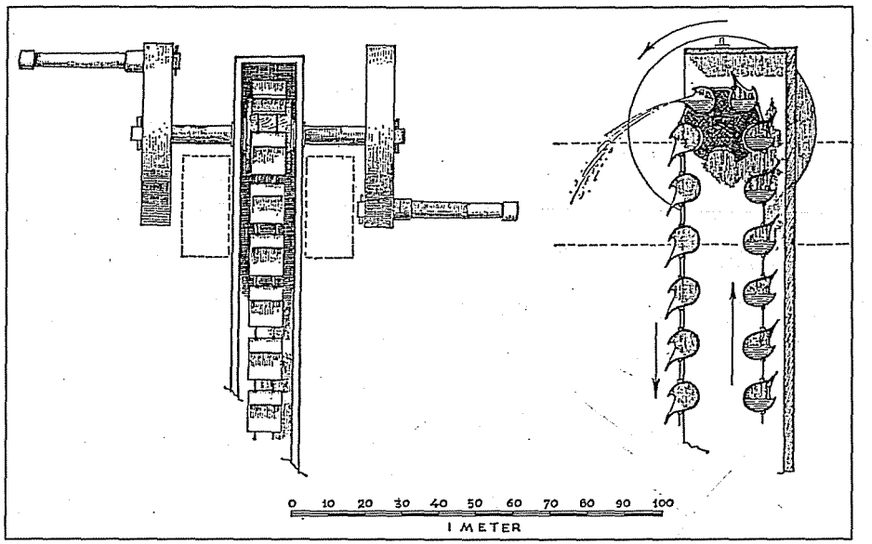
Zincirli su dolaplarının bir başka türünde zincir üzerine belirli aralıklarla piston görevini görmek üzere paçavra veya bitkisel lif gibi malzemelerden yumrular yapılır ve zincir aşağıya doğru boşta inerlen yukarıya bir borunun içinden yükselir ve bu sırada zincir üzerindeki yumrular bir piston görevini görerek borunun içine ittikleri suyu yüzeye kadar çıkartırlar. (Şekil – 2.23 ve 2.24).

5 Vitruvius, s. 391.

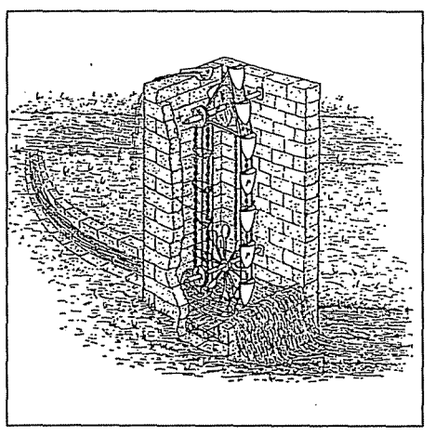
6 Burada söz konusu olan tekerlek ayakla çalıştırılan bir su dolabıdır.

7 Congius: Yaklaşık 3,5 litre.

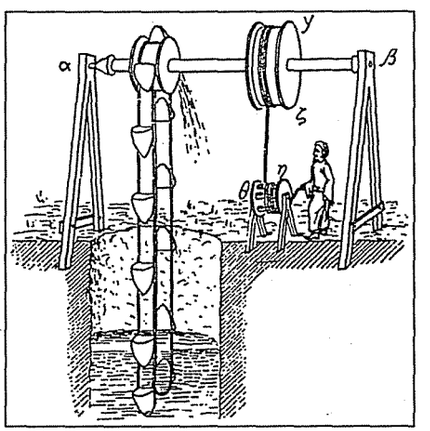
8 Alttaki suyun yüzeyine değecek şekilde.



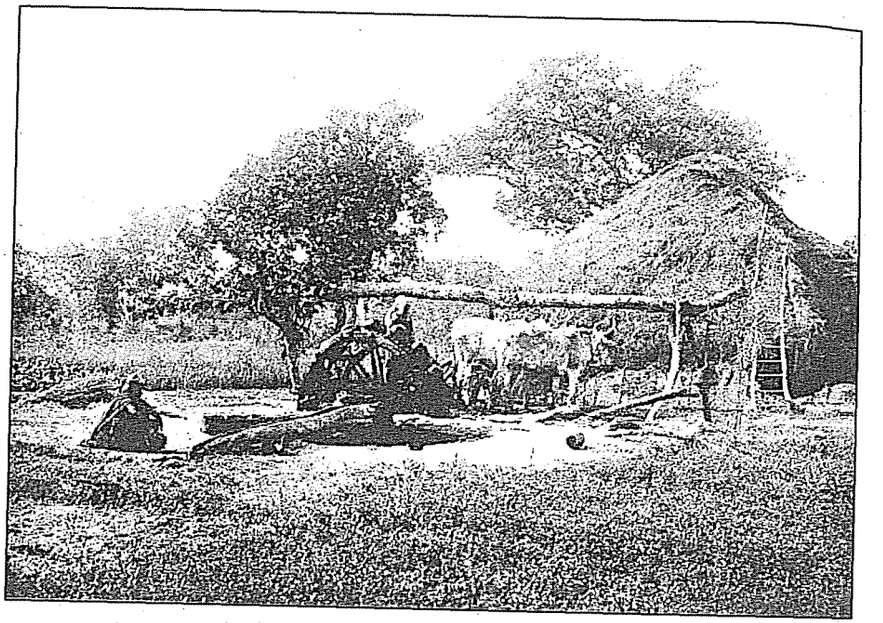
Şekil – 2.17: Roma İmparatoru Caligula'nın I. yüzyılda Roma'nın güneyindeki Nemi gölünde batmış bulunan gemisinin kalıntılarından çıkartılan ve iki kişi tarafından elle çalıştırılan zincirli su dolabı. [De Camp, s. 157].



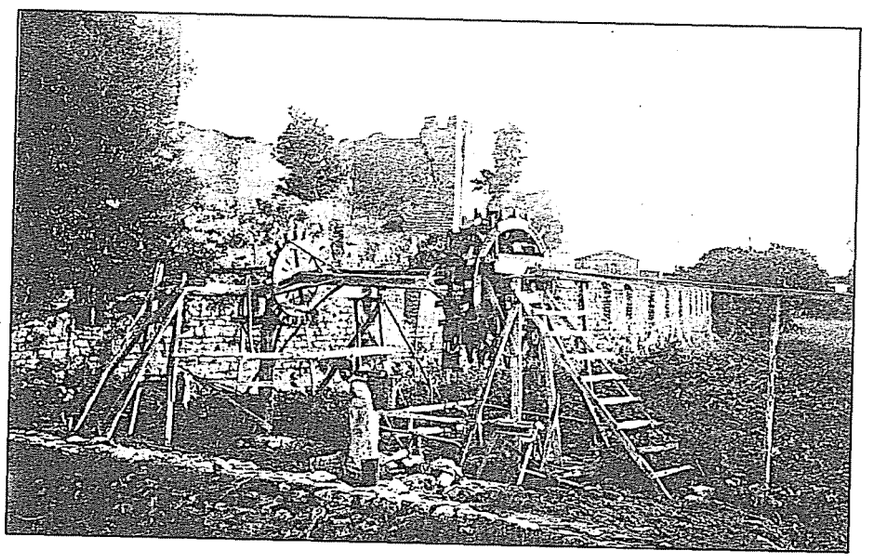
Şekil – 2.18: Bizanslı Philon'un (İ.Ö. II. yüzyıl) alttan akıtmalı su çarkı ile çalışan zincirli su dolabı. [De Camp, s. 146].



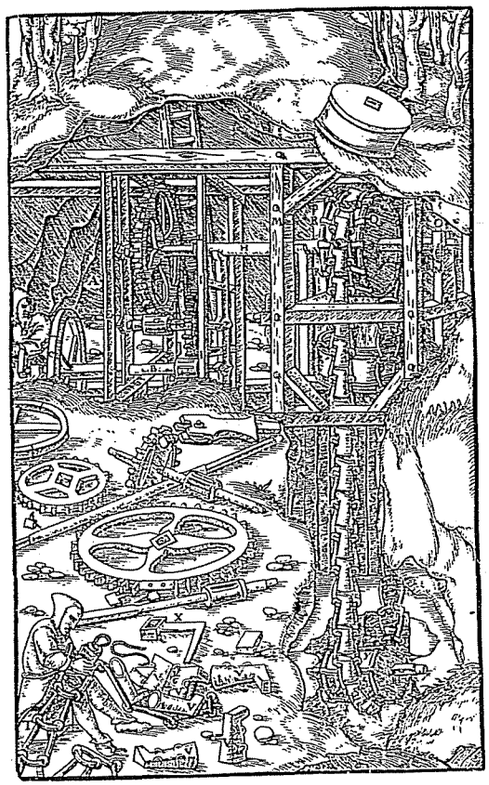
Şekil – 2.19: Bir çıkrık sistemi ile çalışan zincirli su dolabı. [Usher, s. 130].



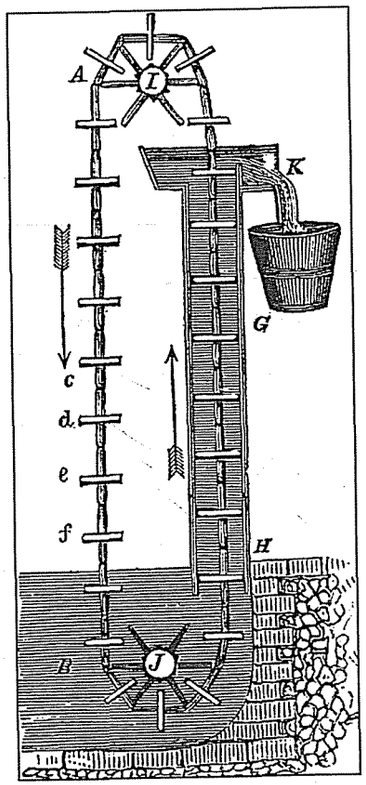
Şekil – 2.20: İran'da öküzlerle döndürülen bir bostan dolabı (sakiya). (1905).



Şekil – 2.21: XX. yüzyıl başlarında İstanbul'da Yedikule'de bir zincirli bostan dolabı.



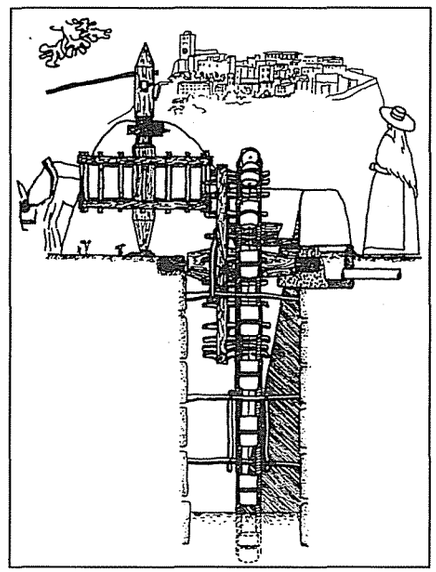
Şekil – 2.22: İki tambur üzerinde dönen zincirli bir su dolabı ile madenden su çekilmesi. [Agricola, s. 173].



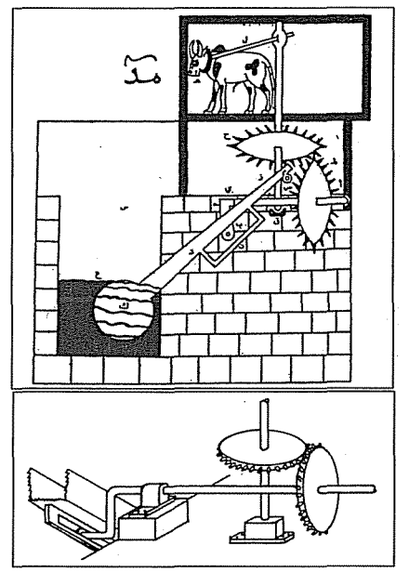
Şekil – 2.23: İki tambur üzerinde dönen ve suyu bir boru içinden yukarı çıkaran zincirli su dolabı.

XII. yüzyılda çeşitli makine ve otomat tasarımları yapan kişilerden biri İsmail bin er-Rezzâz el-Cezerî'dir. Kendisinin yaşamı konusunda bir bilgi yoktur. Kitabındaki açıklamaya göre 1181 – 1206 yılları arasında Amid'de (Diyarbakır) Artuklu hanedanının himayesinde olduğu anlaşılmaktadır. Emir Nasırüddin Mahmud'un isteği üzerine yazıp 1205'de tamamladığı *Kitâb fi Marifeti'l-hiyeli'l-hendesiyye* adlı resimli kitabında çeşitli otomat ve makine tasarımları vermiştir. Kitapta aletlerin genel açıklaması yapıldıktan sonra üretim sırasına göre parçaların yapımı anlatılmış ve bunun ardından bunların montajı ve aletin çalışması konusunda bilgi

verilmiştir. Cezerî Helenistik dönemden XIII, yüzyıla uzanan bir mühendislik geleneğinin İslâm dünyasındaki bir temsilcisidir. Kitabının önsözünde eskilerin kitaplarını incelediğini, onları aktarmak yerine sorunlara kendi gözüyle bakarak çözümler bulduğunu, uygulamaya dönüstürülemeyen her teknik buluşun doğru ile yanlış arasında ortada kaldığını belirmektedir. Kitabında suyun yükseltilmesine ilişkin çeşitli tasarımlar vermiştir. (Şekil – 2.25 ve 2.26).



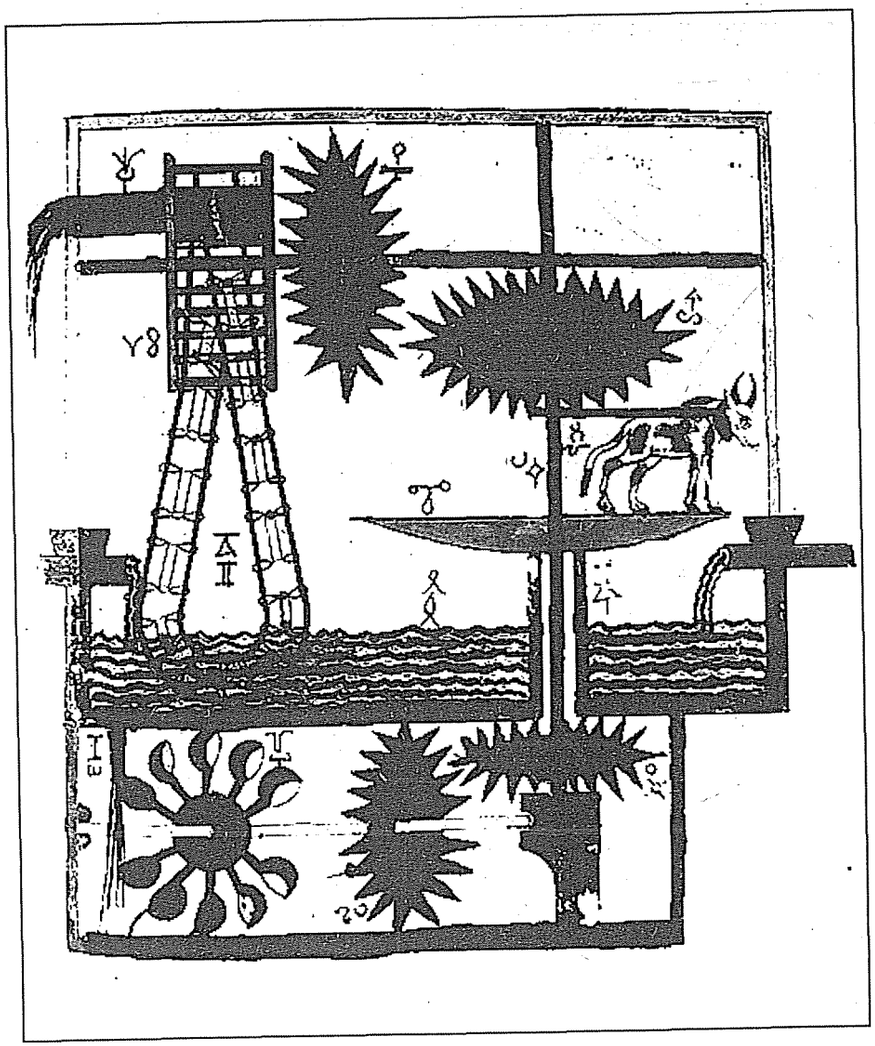
Şekil – 2.24: Bir eşek ile döndürülen ve kuyudan su çeken zincirli su dolabı. [Hill (1996), s. 137].



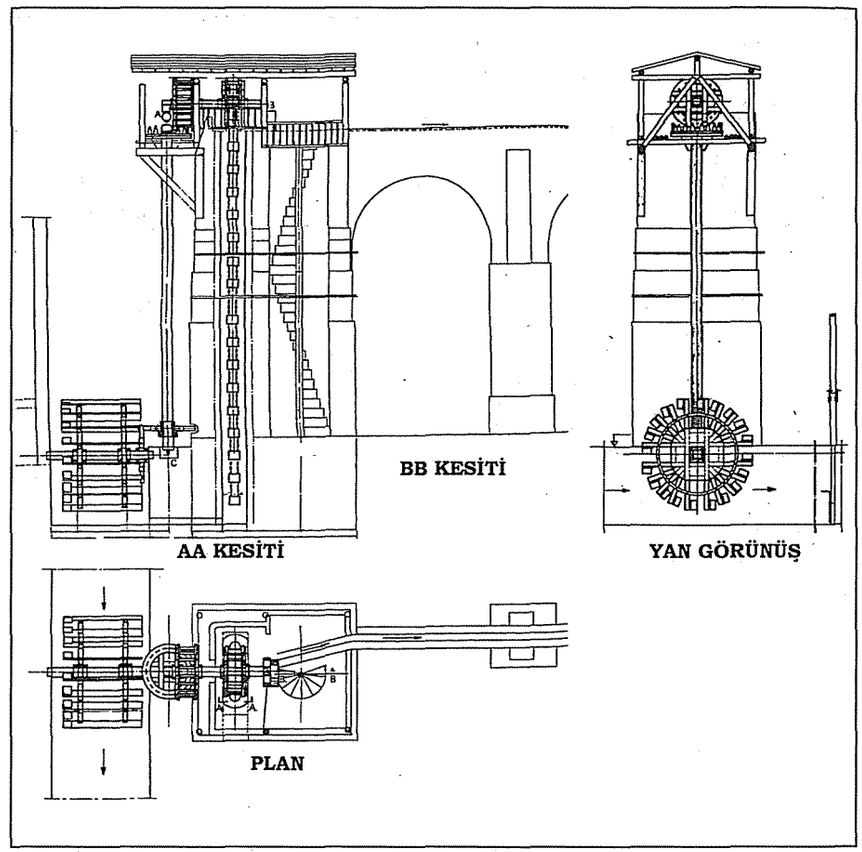
Şekil – 2.25: 1205'de İsmail bin Rezzâz el-Cezerî tarafından tasarlanan kranklı su dolabı. [Hill (1996), s. 149 – 150]

Zincirli su dolaplarının önemli problemlerinden biri uzama durumunda zincirin dingil çevresinde kaymasıdır. Dingilin altıgen veya sekizgen kesitli yapılmasıyla bu sorunun önüne geçilebilir. Sistemin verimi için örnek olarak 33,6 m boyundaki bir zincirin 40 cm çapındaki bir dingilin çevresinde döndüğünü varsayalım. Maksimum kaldırma yüksekliği 16 m dolayında olacaktır. Bu zincir üzerine 2,8 m aralıklarla 12 kepçe bağlanabilir. Kepçeler Vitruvius'un belirttiği boyutta ise bir tam dönüşte 39,6 litre su kaldırılabilir ve bunun için

dingilin 27 kez dönmesi gerekir. Bu işlem yaklaşık üç dakika süreceğinden dakikada 13,2 ve günde 1600 litre su çekilebilecektir. Bu durum bu tür zincirli dolapların sulama işlerinde kullanmak için verimsiz olduğunu göstermektedir. Buna karşılık zincirin bir su çarkı ile çevrilmesi durumunda gündelik su miktarı 54.000 litreye kadar çıkabilir.

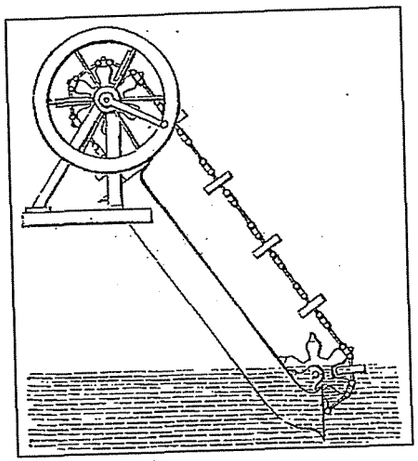


Şekil 2.26: 1205'de İsmail bin Rezzâz el-Cezerî tarafından tasarlanan hem su çarkı ve hem de hayvan gücüyle çalışan zincirli su dolabı.

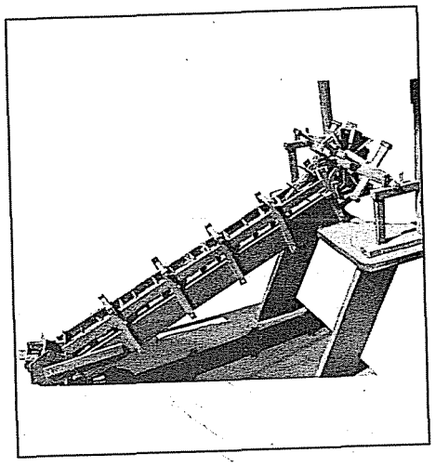


Şekil – 2.27: Şam'da Yezid nehrinden su çekmek için muhtemelen Emir Seyfeddin'in 1234'deki ölümünden önce yapılmış olan ve suyu 12 metreye çıkartan sakiya. Bu sistem Cezerî'nin üçüncü su yükseltme makinesine çok benzer. [Al-Hassan ve Hill, s. 46 – 47].

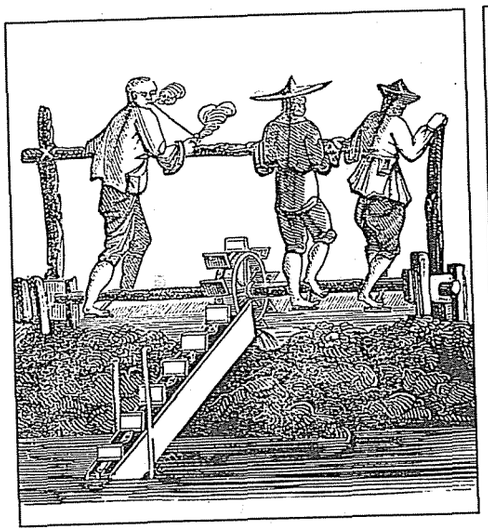
Özellikle Çin'de farklı bir su yükseltme sistemi de kullanılmıştır. Bu sistemde iki tambur üzerinde gergin olarak dönen ve üzerine dik konumda paletler yerleştirilmiş bir zincir kullanılır. Bir ayak dolabı veya su çarkı ile çevrilen bu zincir bir ucu suya batırılmış eğik konumdaki bir oluk içinden geçerek dönerken üzerindeki paletler bir borudaki piston gibi aldıkları suyu yukarıya çıkartırlar. Şekil – 2.28, 2.29, 2.30 ve 2.31).



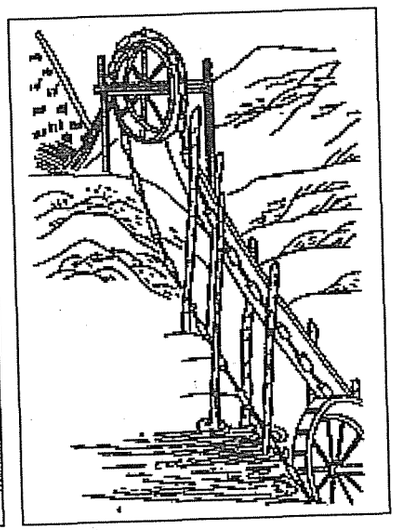
Şekil – 2.28: Özellikle Çin'de kullanılmış olan eğik konumdaki zincirli su dolabı. Burada zincirin iki silindir arasında gergin tutulması gereklidir.



Şekil – 2.29: Kare paletli bir zincirli su dolabının maketi. Paletler bir tahta oluk içinde suyu yukarıya taşımaktadır.



Şekil – 2.30: Çin'de ayak pedalları ile çalıştırılan tahta paletli bir zincirli su dolabı ile nehirden su çekilmesi.



Şekil – 2.31: Çinde kullanılan eğik konumdaki ve bir su çarkı ile çalışan zincirli su dolabı. (1637).

ÇARK TİPİ SU DOLAPLARI

Suyu yekseltmek için kullanılan çark biçimindeki su dolapları genel olarak üç tiptir. Bunlar ayakla döndürülen Yunanca *tympanon* ve Latince *tympanum* olarak adlandırılan -, fazla büyük olmayan ve el veya ayakla döndürülen su çarkları ve bir nehirden akan suyun kendisi tarafından çevrilen *noria* adı verilen büyük su dolaplarıdır.

Tambur

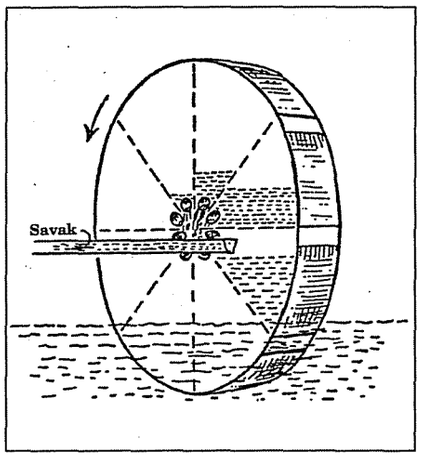
Bunların en basiti çapı fazla büyük olmayan ve insan gücüyle çalışan tamburdur.[9] Bunun için yatay konumda ve uçları demir kaplanmış olup demir yataklar içinde dönen bir eksenin çevresine içi sekize bölünmüş bir tambur yapılır. Tamburun çevresine suyun girmesini sağlamak için aralıklarla tahtalar çakılır ve bölmelerin eksene yakın yerlerine de delikler açılır. Ahşabın sudan etkilenmemesi için de içi ve dışı ziftle kaplanır. Tambur altı suya girecek biçimde yerleştirilip ayakla çevrildiğinde bölmelere aşağıda iken dolan su bölme dönme ile yukarı çıktığında yandaki delikten bir oluk içine boşalır. (Şekil – 2.32 ve 2.33).

Tamburlarda tek enerji kaybı dingil yataklarındaki sürtünme ve suyun içinden geçen basamakların palet etkisi nedeniyle meydana gelir. Bununla birlikte, suyu kaldırabileceği en fazla yükseklik çapının yarısından biraz daha azdır. Çapı 3 m olan bir tambur ile verimli olarak 1 m yüksekliğe su çıkartılabilir. Tamburun genişliği 20 cm olduğunda her bir bölme yaklaşık 50 L ve tambur toplam olarak 8×50 = 400 L su alır. Buna göre bir devirde 400 L ve dakikada iki devir yaptığında 800 L su kaldırdığını varsayarsak tamburu bu hızla döndürmek için % 20 kayıpla ve 0,2 beygir gücü karşılığında iki kişi gereklidir. Tamburun çevresinde 25 cm aralıklarla toplam 38 basamak olduğunu göz önüne alırsak dakikada iki devir için işçilerin dakikada 76 adım atmaları gerekecektir ki koşarak merdiven çıkmaya karşılık olan bu hızın korunması mümkün değildir. Arkhimedes vidası ile katı madde içeren çamurlu sular kolaylıkla yükseltilebilir. Buna karşılık tambur

---

9 Vitruvius, s. 390 – 391.

çekilebildiği halde tambur sisteminde çamur nedeniyle deliklerin tıkanması meydana gelebilir.

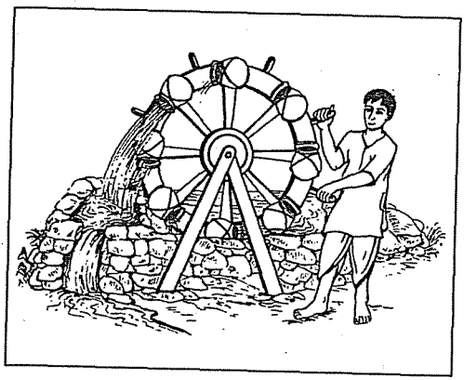


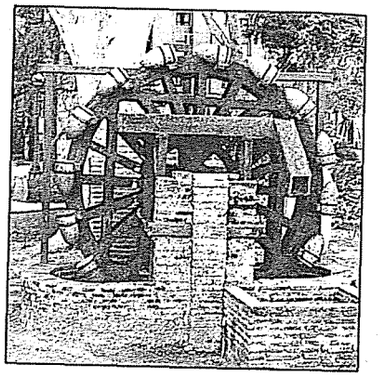
Şekil – 2.32: Tympanum. Dolabın dönüşü sırasında suyun içine giren bölmelere dolan su bölmeler yukarı geldiğinde eksene yakın deliklerden yandaki bir kanala boşalmaktadır. [Landels, s. 64].

Şekil – 2.33: Ispanya'da Murcia'da sebze bahçesini sulamada kullanılan tambur biçimindeki su dolabı. (1926). [*Aqua Romana*, s. 111].

Kepçeli çark

Vitruvius suyun tympanumun çıkarttığından daha yükseğe çıkartılması istendiğinde gene insan gücü ile çevrilen daha büyük bir çark yapılarak bunun çevresine içi ziftlenmiş tahtadan kovalar takıldığını belirtmektedir. Bu aletin Yunanca adı *polykadia* = çok kepçeli'dir. Çarkın suya girmesi sonucunda dolan kovalar dönme sonucunda yukarı çıkınca içlerindeki su kendiliğinden bir kanala boşalır. Sulama amaçlı olan bu dolaplar önce insan gücü ve daha sonraları da hayvan gücü ile çalıştırılmışlardır. (Şekil – 2.34). Bu tür su dolapları daha sonra unutulmuş ve Ortaçağ'da yeniden keşfedilerek *İran çarkı* olarak adlandırılmıştır.





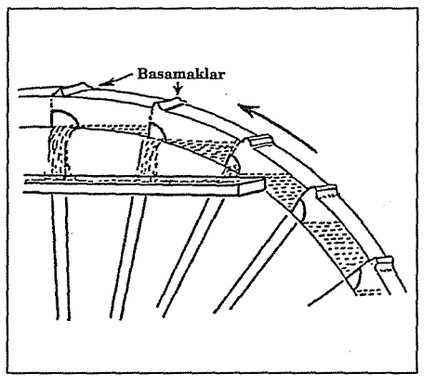
Şekil – 2.34: Elle çevrilen su dolapları.

Madenlerden su çekilmesi

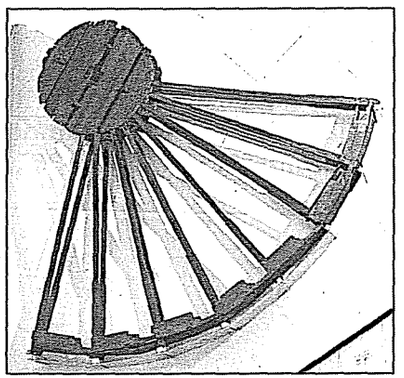
İspanya'daki Rio Tinto maden ocağında 1920'lerin başlarında Roma dönemine ilişkin su çarklarının kalıntıları bulunmuştur. (Şekil – 2.35).

Şekil – 2.35: İspanya'daki Rio Tinto maden ocağında bir su dolabının bulunuşu.

Büyük çaplı çarkların kullanılmasının olanaksız olduğu maden ocaklarıda seri olarak dizilmiş küçük çaplı çarklar kullanılmıştır. Bütünüyle ağaçtan yapılmış olan çarkların çapı 465 cm dir. Göbek ve yatak meşeden ve geri kalan kısımlar ise çamdan yapılmıştır. Nemli ortamda demirin paslanması söz konusu olduğundan tahta çiviler kullanılmıştır. Tunçtan yapılmış olan kare kesitli dingilin yatakların içinde kalan kısımları yuvarlatılmıştır. Göbekten çevrenin iç kısmına kadar uzanan içi boş 13×18 cm kesitli 24 tane kol vardır ve çarkın çevresi de 24 bölmeye ayrılmıştır. Bölmelere çark aşağıdayken suyun girdiği ve yukardayken de boşaldığı delikler bölmelerin baş kısımlarında ve yarım daire biçimindedir. Bu çark bir kişi tarafından ayakla çevrilebilir.[10] (Şekil – 2.36 ve 2.37).



Şekil – 2.36: Su dolabının yapısı, bölmelerdeki su giriş ve çıkış delikleri ve suyun savağa dökülmesi. [Landels, s. 69].

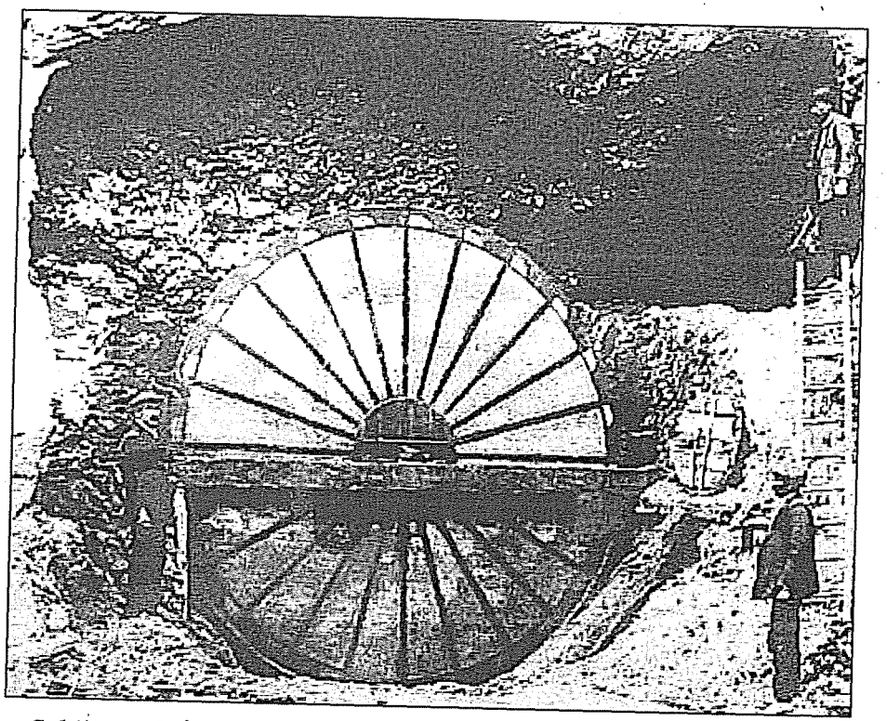


Şekil – 2.37: Su dolabının Londra'da British Museum'da bulunan restore edilmiş bir parçası.

Gene Rio Tinto madenocaklarının başka bir bölümünde Roma dönemine ilişkin başarılı bir su boşaltma sisteminin kalıntılarına rastlanmıştır. (Şekil – 2.38). Burada sekiz çift çarktan oluşan ve suyu toplam olarak 29,6 m yüksekliğe kaldıran bir sistem kurulmuştur. (Şekil – 2.39). Çarkın boşalttığı suyun savak boyunca akmasını sağlayacak doğal bir eğim söz konusudur ve akış sabit olmaktan çok düzensizdir. İki çarkın paralel savaklara su boşaltması durumunda

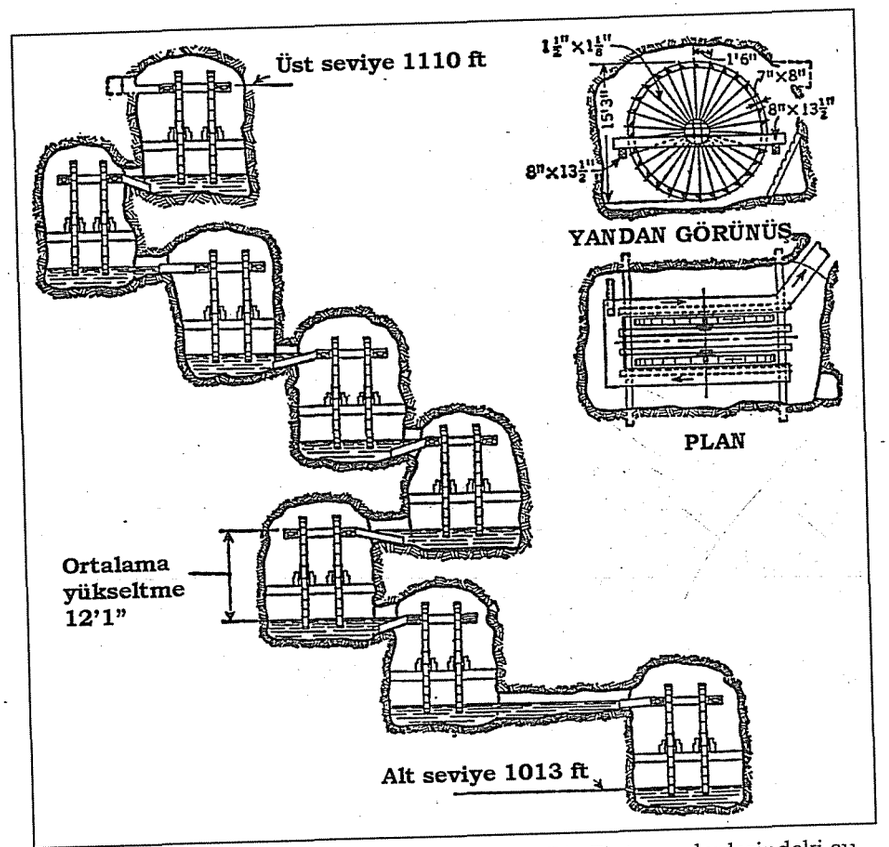
10 Böyle bir çarkın yapılan bir modeli ile % 60 verimle 365 cm lik bir kaldırma yüksekliği için dakikada 93,5 L su kaldırılmıştır.

savakların birleştiği bölgede girdap oluşması söz konusudur ve bu durum bir sonraki çark çiftinin su çukuruna giden oluğun eğimini arttırarak düzeltilebilir. Bunun sonucunda kaldırma yüksekliği birkaç cm azalır. Bunu önlemek için çark çifti ters yönlerde dönecek biçimde yerleştirilmiştir ve iki çarkın çevresinden tek bir oluk geçer. (Şekil – 2.40). Böylece her çark suyu oluk boyunca aynı yönde iter ve bu durumda oluk için hafif bir eğim yeterlidir. Bu sistemin 30 m yüksekliğe saatte 11.000 L su çıkarması büyük bir başarıdır. Ancak sistemi çalıştırmak için tam gün çalışan 16 kişiye gerek olması nedeniyle maliyeti yüksektir. Yatırım ve işletme giderlerini karşılayabilmek için çıkartılan maden cevherinin zengin olması gerekir.[11]

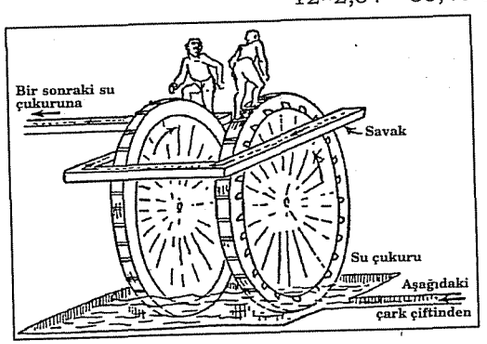


Şekil – 2.38: İspanya'daki Rio Tinto madeninde bulunan ve sekiz çift su dolabından oluşan su boşaltma sisteminin dolaplarından birinin restore edilmiş şekli.

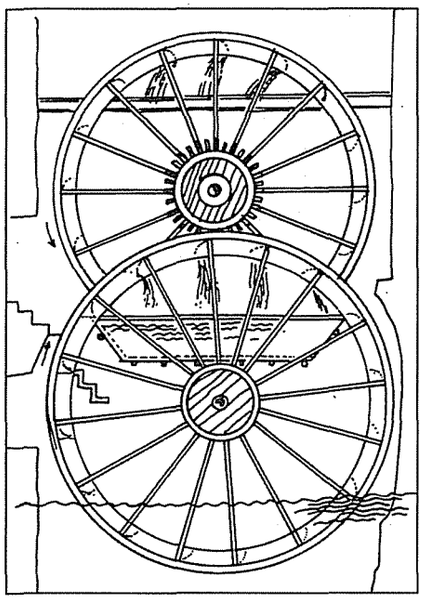
11 J. G. Landels, s. 70.



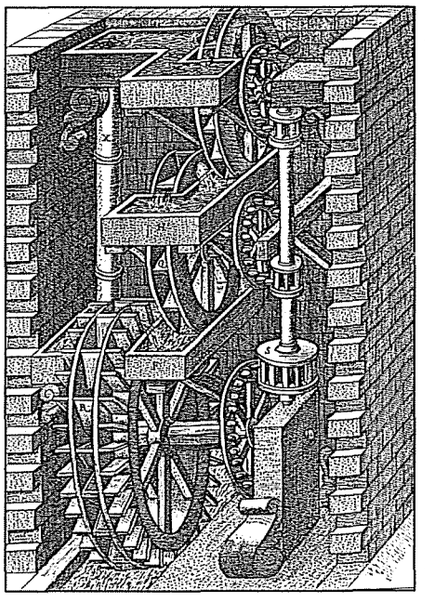
Şekil – 2.39: Roma döneminde İspanya'daki Rio Tinto madenlerindeki su boşaltma sistemi. Buradaki sistemde bronz şaftlara tutturulmuş sekiz çift ahşap su dolabı vardır. Dolapların her biri 465 cm çapında olup suyu ortalama 368 cm kaldırır. Sekiz dolap suyu toplam olarak 29,5 m yüksekliğe kaldırır. [Finch, s. 54[. Burada, 1 inch (") = 2,54 cm 1 foot (') = 12 inch = 12×2,54 = 30,48 cm dir.



Şekil – 2.40: Ters yönde dönen su dolabı çiftinin konumu. [Landels, s. 71].



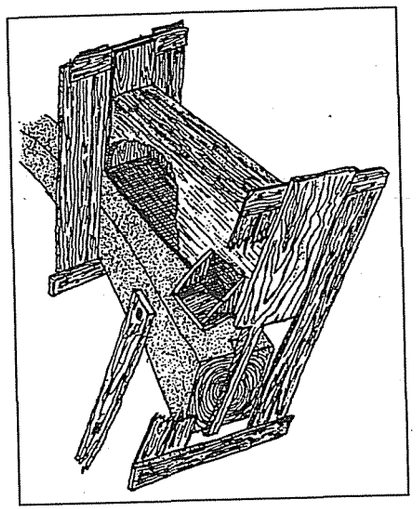
Şekil – 2.41: Birbirini izleyen yani birinin yükselttiği suyu ikincisinin tekrar yükselttiği su dolaplarının konumu. [*Aqua Romana*, s. 135].



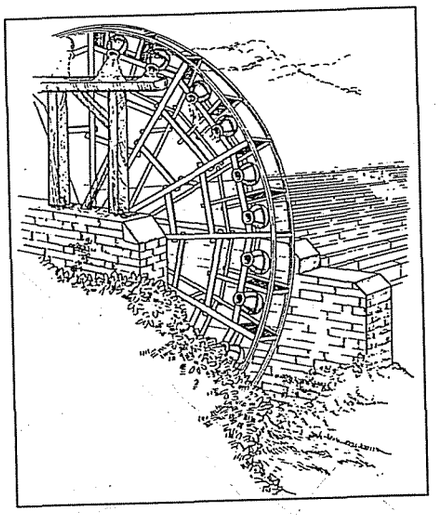
Şekil – 2.42: Agostino Ramelli'nin bir kanaldaki suyu yükseltmek için tasarladığı makinelerden biri. [Ramelli, s. 143/ Levha 42].

Noria (Na'ura)

Özellikle nehirlerden suyu yükseltmek için kanatları olan ve nehirden akan suyun etkisi ile kendiliğinden dönen ***noria*** adı verilen büyük ahşap su çarkları kullanılmıştır. Noria sözcüğü Arapça ***na'ura***'dan kaynaklanmaktadır. Noria insan veya hayvan gücüyle veya başka bir deyimle organik güç kaynakları ile çalışmayan en eski mekanik araç ve ilk "su makinesi"dir. Çarkın üzerine belirli aralıklarla küçük tahta kaplar yerleştirilmiştir ve zincirli su dolaplarında olduğu gibi çarkın dönüşü sırasında suya girerek dolan kaplar tepe noktasına geldiklerinde kendiliklerinden bir yan kanala boşalırlar. (Şekil – 2.43). Romalılar İ.S. 200 dolaylarında çarkın üzerindeki tahta kaplar yerine pişmiş topraktan kaplar bağlamışlardır. (Şekil – 2.44).



Şekil – 2.43: Norianın üzerindeki ahşap su bölmeleri. [Hill (1996), s. 141].



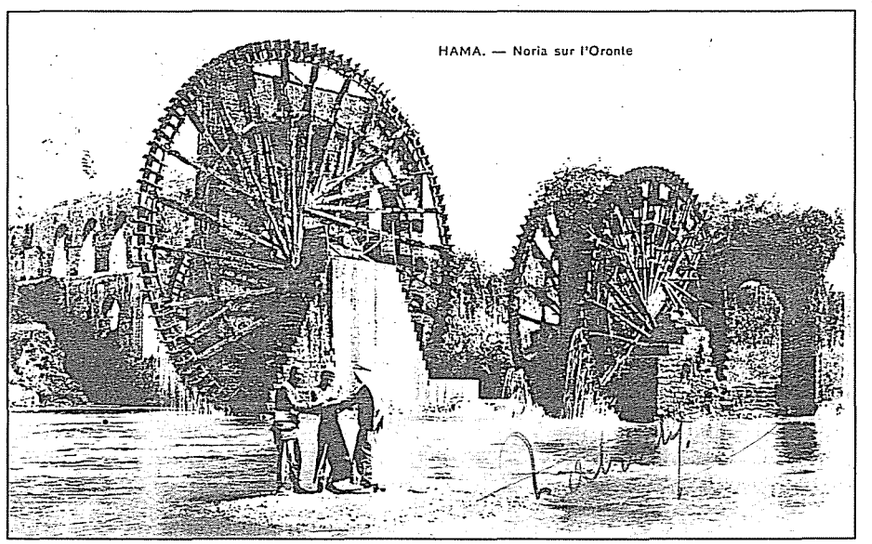
Şekil – 2.44: Üzerine testiler bağlanmış bir noria.

Norianın nerede ve ne zaman ortaya çıktığı konusunda farklı görüşler ortaya atılmıştır. Eski Hint metinlerine dayanan Joseph Needham norianın İ.Ö. V. veya IV. yüzyılda Hindistan'da ortaya çıktığını, İ.Ö. I. yüzyılda Batı'ya ve İ.S. II. yüzyılda da Çin'e yayıldığını ileri sürmektedir.[12] Noria İ.S. V. yüzyılda Doğu Akdeniz'e, ardından Kuzey Afrika'ya ve XI. yüzyılda İber yarımadasına yayılmıştır. Kanadalı arkeolog John Peter Oleson, Mısır'da Faiyum'da bulunan İ.Ö. III. yüzyıla ilişkin sakiya biçimindeki en eski su çarkı kalıntısına, gene Faiyum'da bulunan ve sulama için kulanılan bir su çarkından söz eden İ.Ö. II. yüzyıla ilişkin bir papirüsteki bigilere, İskenderiye'de bulunan İ.Ö. II. yüzyıla ilişkin bir duvar resmindeki sakiyaya ve Rodoslu Callixenus'un İ.Ö. III. yüzyılın sonlarında IV. Ptolemy döneminde Mısırda sakiyaların kullanıldığı konusunda verdiği bilgilere dayanarak ayakla çalıştırılan bölmeli su dolapları (tympanum) ve norianın İ.Ö. IV. yüzyılda ve sakiyanın ise bunlardan bir yüzyıl sonra Mısır'da bulunmuş ve buradan yayılmış olduğunu ileri

12 Donald Hill, *A History of Engineering in Classical and Medieval Times*, London 1996, s. 140.

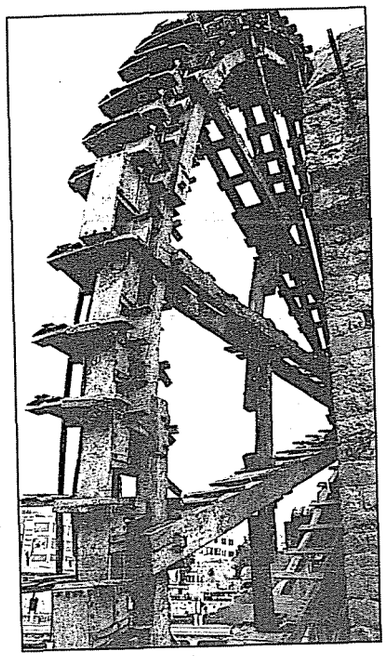
sürmektedir.[13] Başka bir görüşe göre, Bizanslı bir mühendis olan Philon'un *Pneumatika* adlı kitabında bulunan çizimler norianın İ.Ö. III. yüzyılın sonlarında veya II. yüzyılın başlarında Yakındoğu'da bulunmuş olabileceğini gündeme getirmektedir. Helenistik dönemde İ.Ö. III. ve II. yüzyıllarda hertürlü su dolabı ve çarkının kullanıdığı bilinmektedir. Vitruvius da İ.Ö. I. yüzyılda Roma'da noria ve diğer su yükseltme düzeneklerinin kullanıldığını yazmaktadır.

Norialar Suriye, Irak, İran ve İspanya'da Roma döneminden beri yaygın olarak kullanılmıştır. Lübnan'dan doğup Suriye'den geçerek Hatay'da denize dökülen Asi veya eski adıyla Orontes nehri ve özellikle Hama kenti ile çevresi noriaların yoğun olarak kullanıldığı bir bölge olmuştur. (Şekil – 2.45, 2.46, 2.47 ve 2.48). Hama'daki norialar konusundaki en eski bilgi Yakut'un 1229 yılında yazdığı coğrafya kitabında verilmektedir. Bir dönem Hama kenti çevresinde 32 tane noria bulunması nedeniyle kent "medinetü'n-nevair" yani norialar kenti olarak adlandırılmıştır.

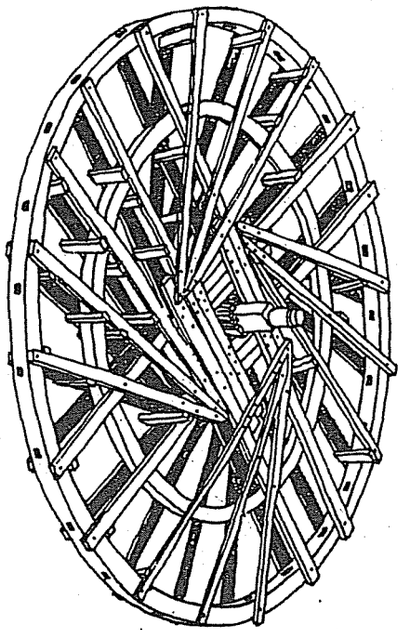


Şekil – 2.45: Hama kentindeki norialarn XX. yüzyılın başındaki görünümü. [E. Dölen koleksiyonu].

13 Adriana de Miranda, *Water Architecture in the Lands of Syria: Tha Water Wheels*, Roma 2007, s. 38 – 39.



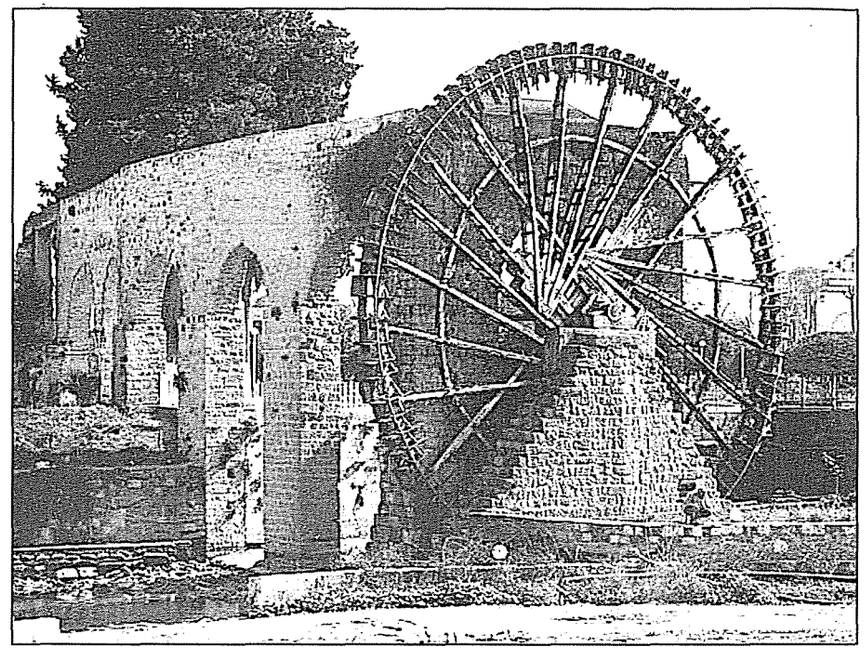
Şekil – 2.46: Hama'daki büyük norianın çarkının yakından görünüşü.



Şekil – 2.47: Hama'daki büyük norianın çarkının yapısı. [Hill (1996), s. 140].

Otaçağ İslâm döneminde noria ve sakiyalar geliştirilmiş, XI. yüzyılda Endülüslü ziraatçi İbn Bassâl tarafından bir volan eklenerek dönme hareketi düzenlenmiştir. Yükseltilen su taştan yapılmış su kemerleri yardımıyla tarlalara ve yerleşim yerlerine ulaştırılmıştır. Günümüze kadar varlığını sürdüren Suriye'nin Hama kentindeki noria 20 metre çapında olup üzerinde 120 tane su kabı vardır ve dakikada 95 litre su kaldırmaktadır. X. yüzyılda yaşamış olan Ebubekir el-Râzî (865 – 925) *Kitab el-Havî* adlı eserinde Irak'daki bir noiranın üzerinde her biri 7,65 L lik 80 testi bulunduğunu ve saatte 153.000 litre veya dakikada 2550 litre su kaldırdığını yazmaktadır.

Suyun çıkarılabileceği yükseklik çarkın çapına bağlı olmakla birlikte ahşap malzeme kullanılarak yapılabilecek çarkların çapları sınırlıdır. Bununla birlikte çapı 30 metreye varan çarklar inşa edilmiştir.

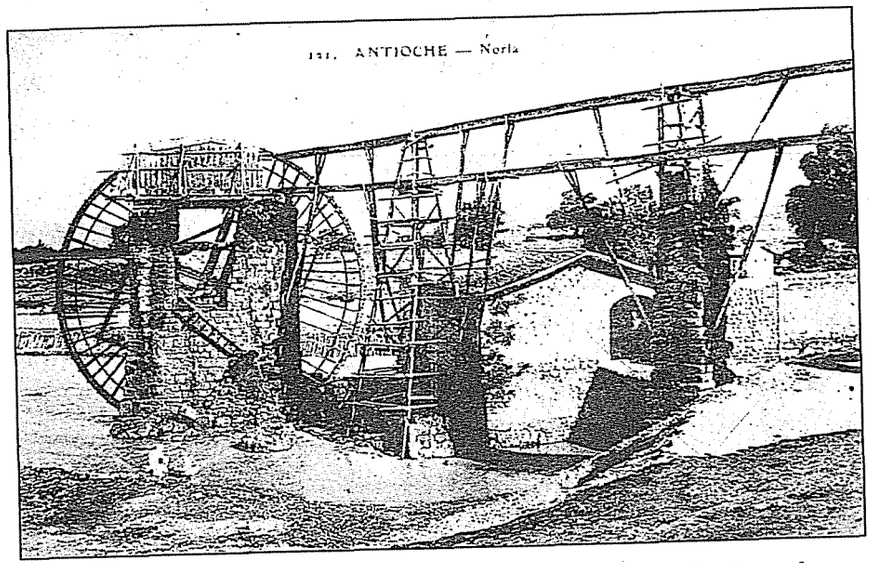


Şekil – 2.48: Hama'da bulunan ve geçmişi Roma dönemine kadar uzanan bir noria. [*Aqua Romana*, s. 29].

Büyük bir noria hakkında gerekli hesapları yapmak için geçmişte Antakya'da bulunan (Şekil – 2.49)'daki noriayı göz önüne alalım. Buradaki çarkın 90° lik bölümünde 17 tane parmak (çubuk) bulunduğuna göre toplam parmak sayısı $n = (360/90)\times 17 = 68$'dir. Çarkın çevresinde çubuklar arasında ortalama $l = 0{,}5\ m$ aralık bulunduğu bilindiğine göre çarkın çevresi $d = 0{,}5\times 68 = 32\ m$ dir. Çarkın çevresi $d = 2\pi\times R = 32\ m$ olduğundan çarkın yarıçapı $R = 32/2\pi \approx 5{,}1\ m$ bulunur.[14] Çarkın üzerinde bulunan ve su taşıyan bölmelerin kesitinin 10×10 cm ve boyunun da 50 cm olduğunu varsayarsak bir bölmenin hamcı $v = 10\times 10\times 5 = 5000\ cm^3 = 5\ L$ bulunur. Bu durumda çarkın taşıyabileceği toplam su hacmı teorik olarak $V = n\times v = 68\times 5 = 340\ L$ ve su kayıpları ile bölmelerin duvar

14 Resimde değirmenin kapısı önünde duran değirmencinin boyu 1,7 m olarak alınıp buna göre oranlanırsa çarkın çapı yaklaşık olarak 10,5 m ve parmakların arası da 0,5 m olarak bulunur.

kalınlıkları göz önüne alındığında $\eta = 0,7$ verimle $V' = 0,7 \times 340 = 238\ L$ bulunur.



Şekil – 2.49: Geçmişte Antakya kentinde Asi nehrinin sol yakasında bulunan noira. [E. Dölen koleksilyonu].

Nehirde akan suyun çarkı sürükleme hızının v = 0,5 m/s olduğu varsayılırsa ω = çarkın açısal hızı ve u = devir/saniye cinsinden çarkın dönme hızı olmak üzere,

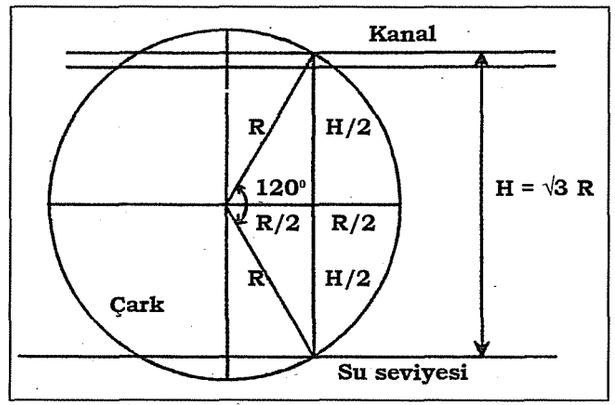
$$v = R \times \omega = R \times 2\pi \times u$$

$$u = v/(2\pi \times R) = 0,5/(2 \times 3,14 \times 5,1) = 0,0156\ devir/s =$$
$$= 0,0156 \times 60 = 0,94 \approx 1\ devir/dakika$$

bulunur. Buna göre dakikada yaklaşık olarak bir devir yapan noria $Q = 238\ L/dakika = 3,97 \times 10^{-3}\ m^3/saniye$ debi ile suyu H yüksekliğine kaldırmaktadır. Kaldırma açısının 120° olduğu kabul edilirse **(Şekil – 2.50)** suyun kaldırılabildiği H yüksekliği,

$$H/2 = R \times sin\ 60^0 \rightarrow H = \sqrt{3} \times R = 1,73 \times 5,1 \approx 8,8\ m$$

olarak bulunur.



Şekil – 2.50: Noiranın suyu kaldırma yüksekliğinin hesaplanması.

Sulama kanallarında genel olarak kullanılan eğim $1/200 = 0,005$ olduğundan eğim açısı $a = arctg\ 0,005 = 0^0,286$ ve suyun ulaşabileceği maksimum uzaklık da,

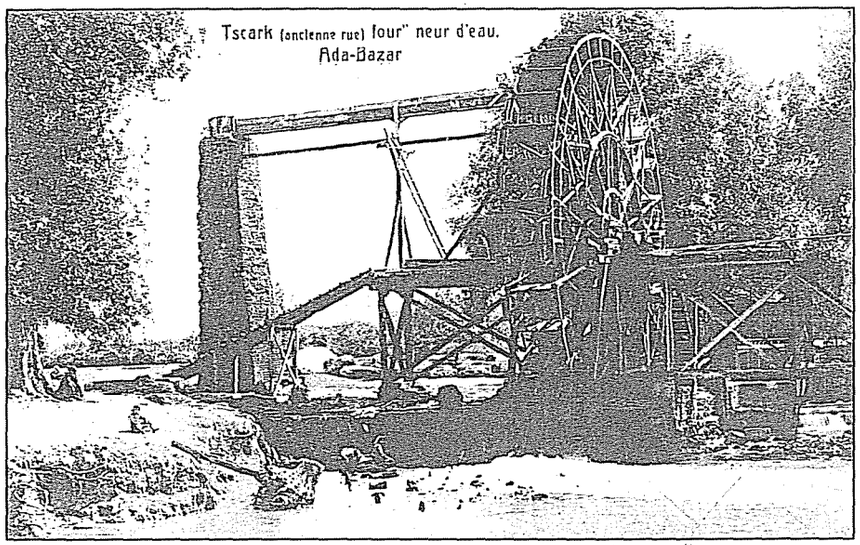
$$d = H/tga = 8,8/tg\ 0^0,286 = 8,8/4,49.10^{-3} \approx 1960\ m$$

olarak bulunur. Hama'daki noria gibi çapı 20 m olan bir çark durumunda suyun çıkarılabileceği yükseklik $H = \sqrt{3} \times R = 1,73 \times 10 = 17,3\ m$ olur ve sulama mesafesi de 3500 m ye kadar uzayabilir.

Köle emeğinin geçerli olduğu Eskiçağ'da oldugu gibi böyle bir çarkın insan gücü ile çevrildiğini varsayarsak suyun yoğunluğu $d = 1000\ kg/m^3$ ve yerçekimi ivmesi $g = 9,8\ m/s^2$ alınarak gerekli güç,

$$P = d \times g \times Q \times H =$$
$$= (1000\ kg/m^3) \times (9,8\ m/s^2) \times (3,97.10^{-3}\ m^3/s) \times (8,8\ m) =$$
$$= 342,4\ Nm/s\ (W)$$

olarak bulunur. $\eta = 0,75$ verimle bu iş için gerekli insan gücü $P' = P/0,75 = 342,4/0,75 = 456,5\ W$ dır. Bir beygir gücü $1\ HP = 745,7\ W$ ve bir insanın ortalama gücü de $0,1\ HP = 74,57\ W$ olduğuna göre gerekli insan sayısı $456,5/74,57 = 6,12 \approx 6$ olur.



Şekil – 2.51: Adapazarı'nda Sapanca Gölü'nün suyunu Sakarya Nehri'ne boşaltan Çark Suyu üzerine dönemin Adapazarı kaymakamı Mehmed Nüzhet Bey tarafından kentteki çeşme ve evlere kullanma suyu sağlamak için 1894'de yaptırılan noria. Bu çark 1955 yılına kadar kullanılmış ve daha sonra terk edilerek zaman içinde yıkılmıştır. Günümüzde eskiden bulunduğu yere Sakarya Büyükşehir Belediyesi tarafından bir örneği yaptırılmıştır. [E. Dölen koleksiyonu].

PİSTONLU POMPALAR (TULUMBALAR)

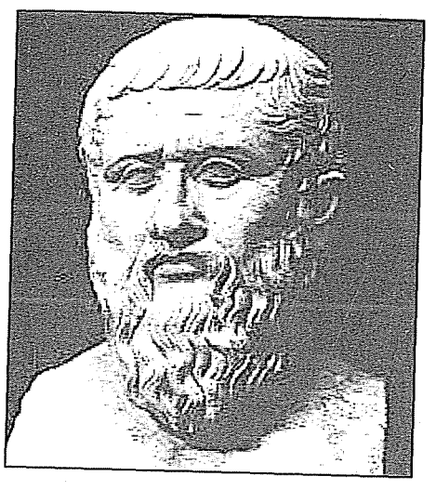
Emme ve emme – basma tipi pistonlu tulumbaların geçmişi oldukça eskiye dayanmakla birlikte ne zaman ve nerede ortaya çıktıkları konusunda kesin bir bilgi yoktur. Önce emme-basma tulumbanın ve daha sonra da emme tulumbanın ortaya çıktığı anlaşılmaktadır.

İskenderiyeli Ktesibios (İ.Ö. 285 – 222) (Şekil – 2.52 ve 2.53) tarafından bulunmuş olup *Ktesibios makinesi* veya pompası olarak anılan çift silindirli ve tunçtan yapılmış bir tulumba hem İskenderiyeli Heron ve hem de Vitruvius tarafından tanımlanmıştır.[15]

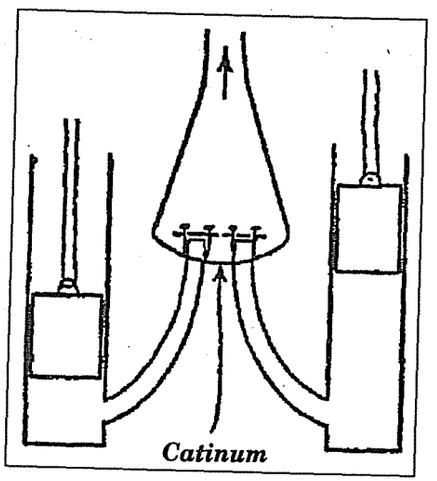
15 Vitruvius, s. 395. Daha sonraki çeşitli kaynaklarda bu tulumbanın İskenderiyeli Heron tarafından bulunmuş olduğu da ileri sürülmüştür.

"Şimdi sıra geldi Ktesibios'un suları yükseğe çıkarmaya yarayan makinesini anlatmaya. Bu makine tunçtan yapılır. Dip tarafında aralarında az bir maesafe bulunan ve boruları olan bir çift silindir (*modioli*) olur. Bu borular çatalın uçları gibi birbirine yanaşıp ortadaki hazneye girer. Bu haznede boruların üst deliklerine sıkıca oturtulmuş vanalar (çıkış vanaları, *asses*) olur. Bunlar boruların ağızlarını kapatarak basınçla hazneye giren suyun geri kaçmasını önler.

Haznenin üzerine ters bir huni şeklinde bir kapak oturtulur ve içerdeki suyun basıncıyla kalkmasın diye de perçinle tutturulur. Kapağın üstüne "borazan" (*tuba*) adı verilen bir boru dik olarak takılır. Bir de çift silindirin hazneye giden borularının alttaki çıkışlarına, yani dipteki deliklerinin üzerine yerleştirilmiş vanalar bulunur."



Şekil – 2.52: İskenderiyeli mekanikçi Ktesibios. İ.Ö. 285 – 222).

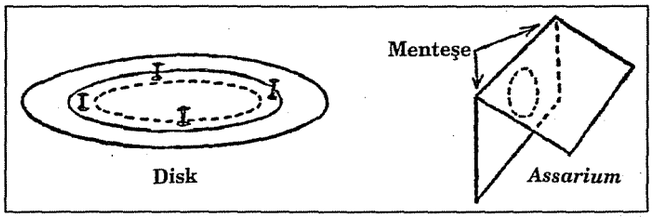


Şekil – 2.53: Vitruvius'a göre Ktesibios'un pompasındaki çıkış vana düzeneği. [Landels, s. 79].

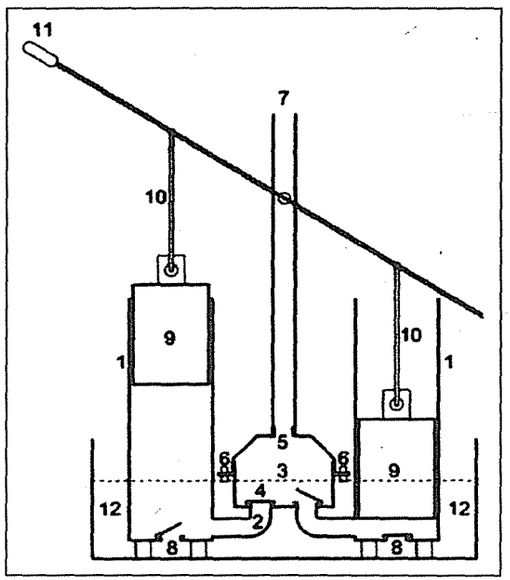
Bu pompada silindirler suyun içine yerleştirilmiş olup su silindirlere diplerindeki yuvarlak deliklerden girer. Bu giriş deliklerinin üzerinde çok basit valflar vardır. Bu valflar dört pim tarafından gevşek olarak tutulan dairesel bir diskten oluşur. Bunun yanında *assarium* adı verilen dikey konumdaki bir valf da kullanılmıştır. (Şekil – 2.54).

Ortaya çıkan ilk örneğin basit bir emme tulumba olmayıp gerçek anlamda çift silindirli bir emme – basma tulumba olduğu ancak uygulamada silindirler suyun içine oturtulduğundan

sadece basma tulumba olarak kullanıldığı görülmektedir. Ktestibios tipi bir tulumbanın ayrıntılı bir çizimi (Şekil – 2.55)'de verilmiştir.

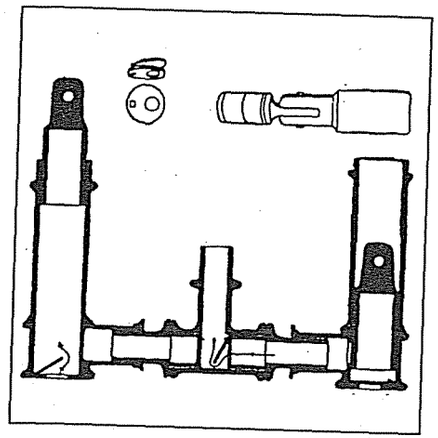


Şekil – 2.54: Pompalarda kullanılan vana düzenekleri.

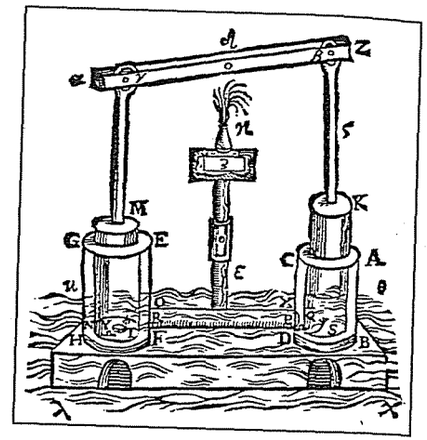


Şekil – 2.55: Vitruvius'un tanımladığı çift silindirli Ktesibios tulumbasının ayrıntılı yapısı. (1) *Modioli* (silindirler), (2) *Fistulae* (borular), (3) *Catinus* (hazne), (4) *Asses catini* (haznenin vanaları), (5) *Paenula* (ters huni biçimindeki şapka), (6) *Fibulae* (şapkayı yerinde tutmak için pimler veya geçmeler), (7) *Tuba* (borazan boru), (8) *Valves* (vanalar), (9) *Emboli masculi* (pistonlar), (10) *Regulae* (piston kolları), (11) *Vectes* (salınım çubukları), (12) *Castellum* (tank). [Vitruvius s. 396].

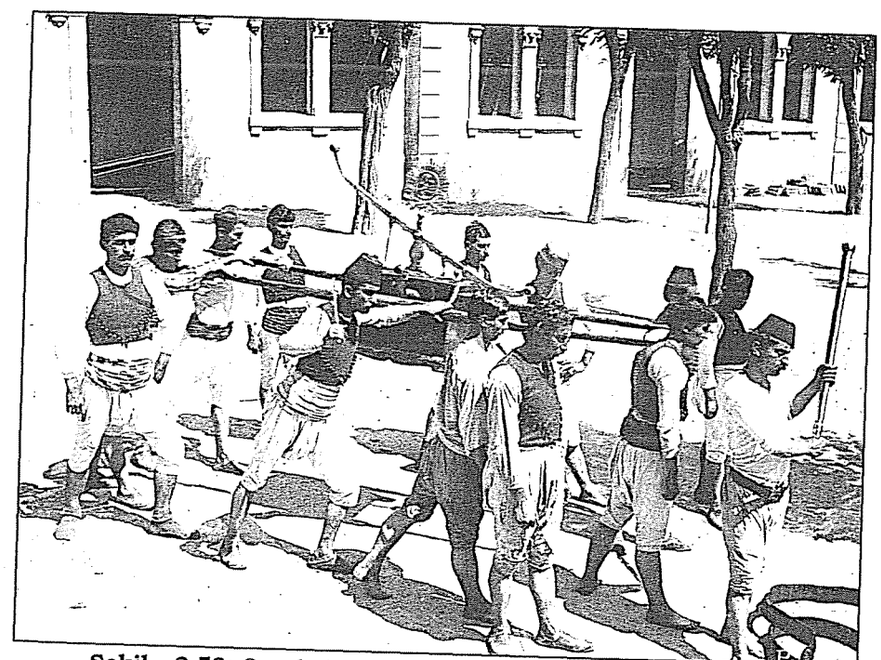
Bu tür emme-basma tulumbalar Roma döneminden buharlı tulumbaların yapıldığı XIX. yüzyıl ortalarına kadar yangın söndürme tulumbası olarak kullanımıştır. (Şekil 2.56 ve 2.57). Osmanlı döneminde XIX. yüzyılda bu tür tulumbalar Türkiye'ye gelmiş ve yangın söndürme işlemlerinde kullanılmaya başlanmıştır. Bunlar *sandık* olarak adlandırılmıştır. Her mahallenin bir sandığı ve bunu kullanan *tulumbacılar* olarak anılan bir ekibi vardır. (Şekil – 2.58).



Şekil – 2.56: İtalya'da Etruria bölgesindeki Bolsena'da bulunmuş olup British Museum'da sergilenen bronz pompa. [Singer, s. 28].



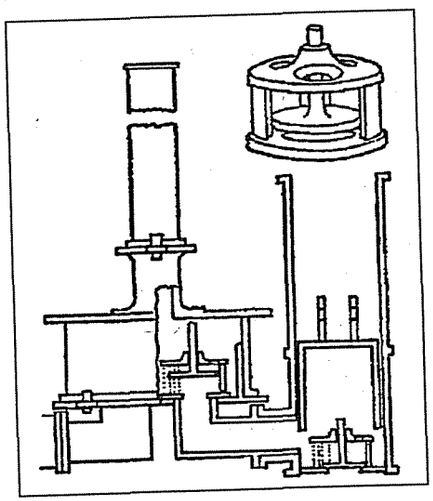
Şekil – 2.57: Ktesibios'un yangın tulumbasının 1688'de yapılmış tahtaoyma baskı bir resmi. [Klemm, s. 30].



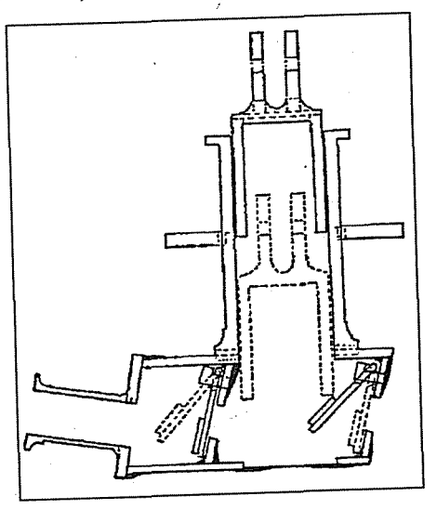
Şekil – 2.58: Ortada bir "sandık" ve ve onu taşıyan mahallenin tulumbacıları.[E. Dölen koleksiyonu].

İspanya'da Sotiel Coronado maden ocağında 1889'da yerin biraz altında bulunmuş olan ve "Valverde Huelva pompası" olarak anılan tunçtan yapılmış bir pompada hem giriş ve hem de çıkış valfları yatay konumdadır. (Şekil – 2.59). Burada valflar silindirik bir kutu içine yerleştirilmiş olup üzerlerindeki bir mil yardımıyla bu kutu içinde yukarı ve aşağı doğru hareket etmektedir[16]

İ.S. I. yüzyılın ortalarına ilişkin bir Roma ticaret gemisinin batığında tunçtan yapılmış dört tane pompa bulunmuştur. (Şekil – 2.60). Pompaların parçalarının üzerinde bunlarını doğru olarak monte edilmesini sağlamaya yönelik işaretler vardır. Pompanın silindiri kesiti 15 - 20° eğimli paralelkenar olan bir kutunun üzerine yerleştirilmiştir. Assarium tipindeki valflar eğimli yatağın yukarı bakan tarafında olduklarından suyun akışı tarafından zorlanmadıkları sürece kapalı konumda kalırlar. Pompaların piston ve siilindir çapları (Çizelge – 2.1)'de verilmiştir,



Şekil – 2.59: İspanya'daki Sotiel Coronado maden ocağında bulunmuş olan Roma dönemine ilişkin tunç pompanın kesiti ve sağ üstte valflarının yapısı. [Landels, s. 83].



Şekil – 2.60: İ.S. I. yüzyıla ilişkin bir Roma batığında bulunmuş olan ve dikey konumda valflar içeren tunç pompaların kesiti. [Landels, s. 84].

16 J. G. Landels, s. 82 – 83.

ÇİZELGE – 2.1
Roma batığında bulunan pompaların silindir ve piston çapları
[Landels, s.84]

Pompa No.	Piston dış çapı (mm)	Silindir iç çapı (mm)	Toplam oynama payı (mm)
1	43,5	44,0	0,25
2	42,8	43,5	0,35
3	42,9	43,1	0,10
4	44,0	44,3	0,15

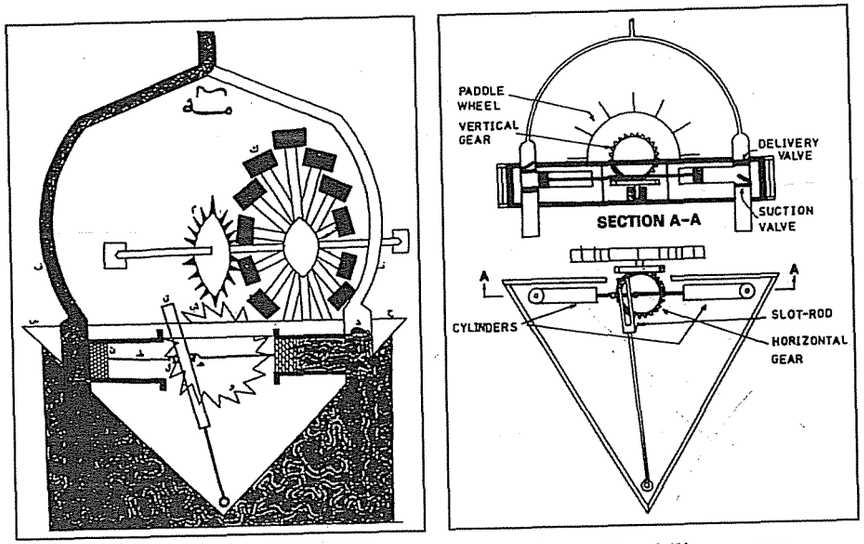
Bu pompaların toplam verimliliğinin % 95 olduğu varsayılmaktadır. Buna göre, pistonun saniyede bir iniş-çıkış yapması durumunda saatte yaklaşık 630 L su basılabilir.[17]

Cezerî'nin önemli makinelerinden biri su çarkı ile çalışan emme – basma tulumbadır. Burada su çarkından elde edilen dönme hareketi pistonları çalıştıran bir ileri – geri harekete dönüştürülmekte olup ilk kez emme borusu kullanılmıştır. Su çarkının çevirdiği düşey konumdaki bir dişli yatay konumdaki başka bir dişliyi döndürür. Yatay dişlinin çevresine yakın bir yerde bulunan düşey bir pime ortası yarık ve diğer ucu bir pimle sabitleştirilmiş bir çubuk geçirilmiş ve tulumbanın piston kolları bu çubuğa bağlanmıştır. Yatay dişlinin dönmesiyle birlikte yarık çubuk açısal bir hareket yaparak piston kollarını ileri – geri hareket ettirir. (Şekil – 2.61).

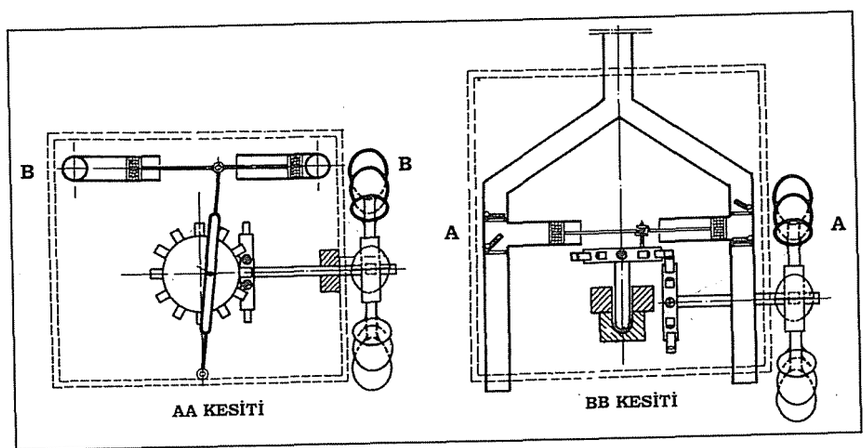
Kendisini matematik ve astronomi alanında yetiştirmiş olan Takiyüddin er-Râsıd (1526 – 1585) II. Selim tarafından 1571'de müneccimbaşılığa atandı ve Galata Kulesi'nde astronomik gözlemlere başladı. Daha sonra 1577'de III. Murad'ın izni ile Tophane sırtlarında bir rasathane kurarak gözlemlerini sürdürdü. Devlet adamları arasındaki çekişmeler ve rasathaneyi hedef alan yıpratma kampanyaları sonucu Haley kuyrukluyıldızının gelişini de fırsat bilen Şeyhülislâm Kadızâde Ahmed Şemseddin Efendi'nin rasathanelerin bulundukları ülkeleri felâkete sürüklediği yönündeki fetvası üzerine rasathane 22 Ocak 1580'de içindeki aletleri ile birlikte topa tutularak tahrip edildi. Takiyüddin astronomik saatler, gözlem

17 J. G. Landels, s. 83 – 85.

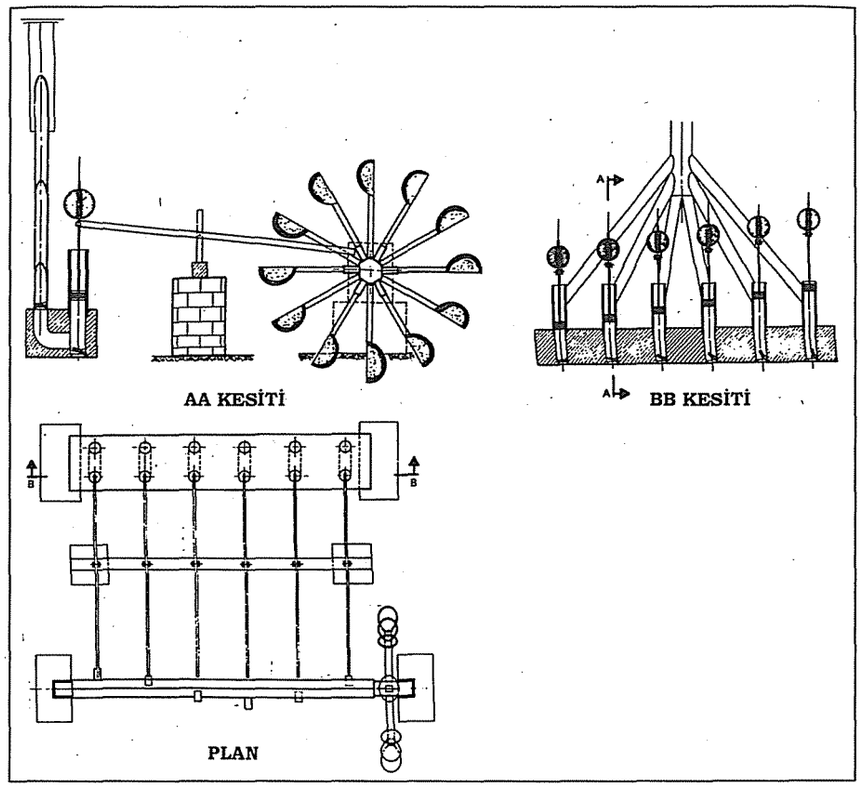
araçları ve çeşitli makineler tasarlamış olup 22 tane kitap ve risalesi vardır. (Şekil – 2.62 ve 2.63).



Şekil – 2.61: Cezerî'nin bir su çarkı ile çalışan çift etkili pompası. [Hill (1996), s. 151 – 152].



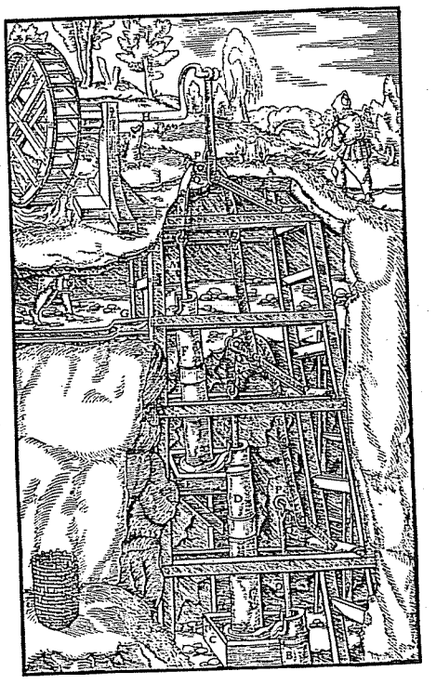
Şekil – 2.62: Takiyüddin tarafından tanımlanmış olan karşıt silindirli pompa. Bu tasarım Cezerî'nin tasarımına çok benzemektedir. [Al-Hassan ve Hill, s. 50].



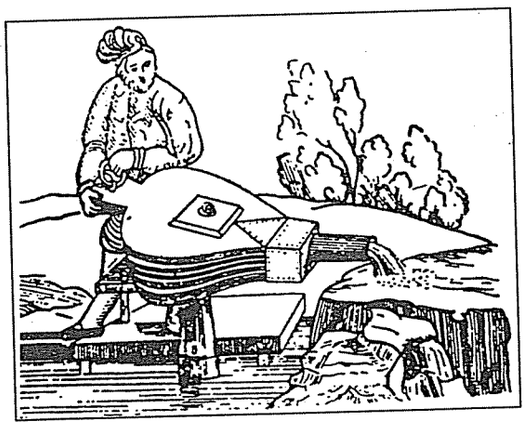
Şekil – 2.63: Takiyüddin tarafından tasarlanmış olan bir su çarkı ile çalışan ve bir ağaç blok içinde altı silindir içeren "monoblok" pistonlu pompa. [Al-Hassan ve Hill, s. 51].

Emme derinliği teorik olarak 10,33 m olmakla birlikte gerçek kayıplar nedeniyle daha azdır. Bunun yanında birbirine tam olarak uyan silindir ve pistonların yapılmasındaki zorluklar nedeniyle emiş derinliği çok daha azalmıştır. Bununla birlikte emme tulumbalar bir dizi biçiminde belirli aralıklarla üst üste yerleştirilerek oldukça büyük derinliklerden su çekilebilmiştir. Bu tür sistemler özellikle maden ocaklarında suyun çekilmesi için kullanılmıştır. (Şekil – 2.64 ve 2.65). Bunların yanında emme – basma körüklü pompalar da kullanılmıştır. (Şekil – 2.66 — 2.71).

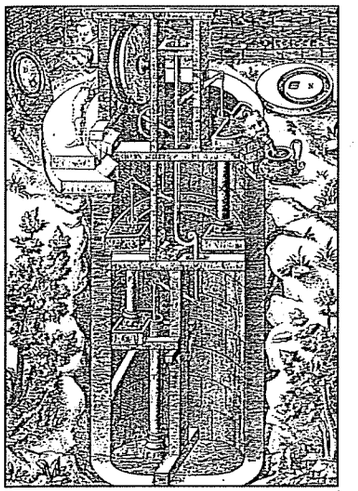
Şekil – 2.64: Georgius Agricola'ya göre (1556) maden ocaklarından su boşaltmak için kullanılan ilkel bir emme tulumba. Agricola'daki tulumbalar ve su boruları ahşaptan yapılmıştır. Bu tür tulumba kolları daha sonra tulumba çalıştıran buhar makinelerinin terazi kollarına örnek olmuştur. [Agricola, s. 178].



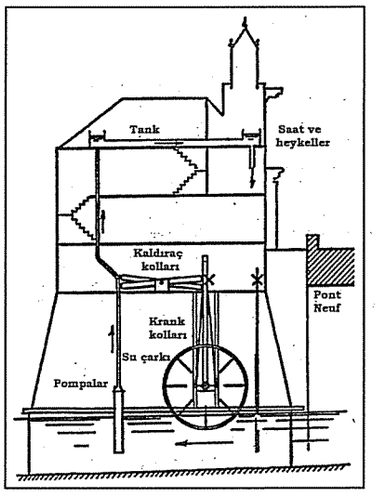
Şekil – 2.65: Agricola'ya göre bir su çarkı ve krank sistemi ile çalıştırılan ve basamaklı olarak yerleştirilmiş emme tulumbalarla bir maden ocağından su çekilmesi. [Agricola, s. 185].



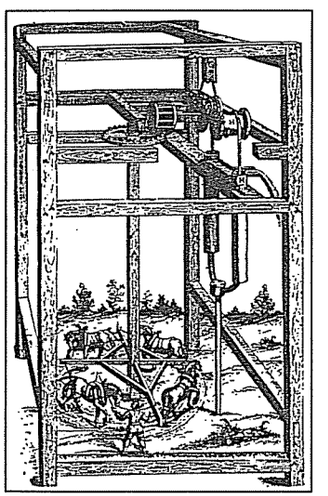
Şekil – 2.66: Bir körük yardımıyla suyun yükseltilmesi. [Wolf, II, s. 525].



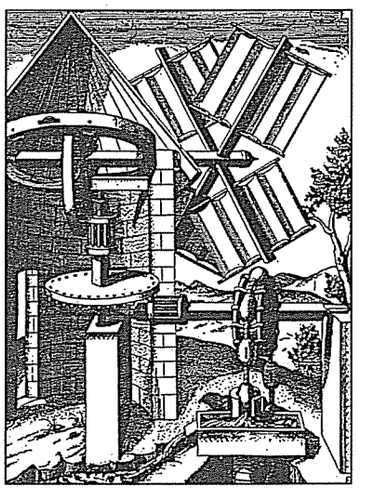
Şekil – 2.67: Agostino Ramelli'nin (1588) krank sistemi ile çalışan bir dizi emme tulumbalı su yükseltme sistemi. [Ramelli, s. 113/Levha 28].



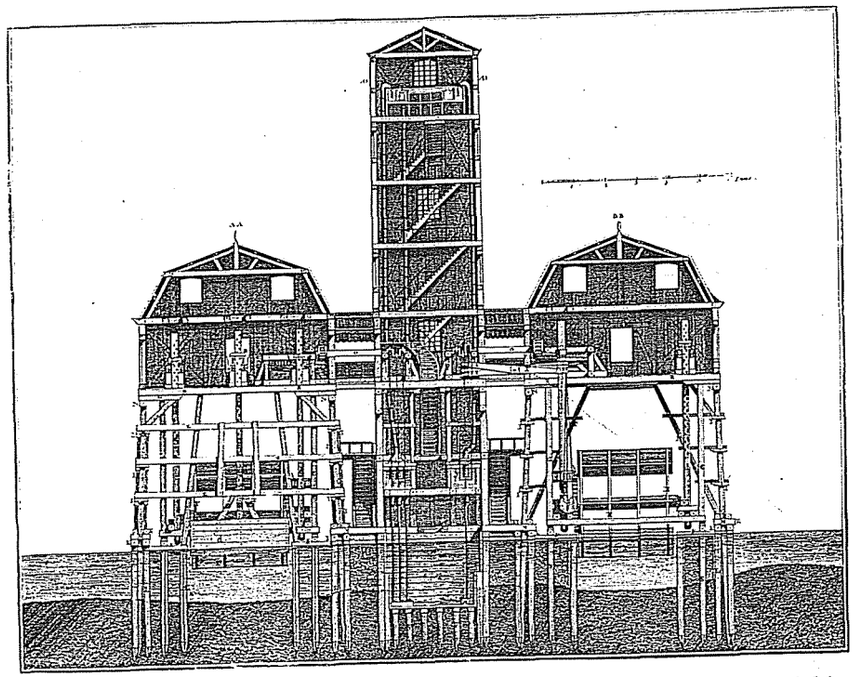
Şekil – 2.68: Paris'de 1602'de Pont Neuf üzerine kurulmuş olup bir su çarkı ve krank sistemi ile çalışan su pompaları. [Finch, s. 150].



Şekil – 2.69: Salomon de Caus'un 1615'de yayınlanan *Les Raisons des Forces Mouvantes* adlı kitabında madenden su çeken "dört beygir gücünde" pompa.



Şekil – 2.70: XVII. yüzyılda yel değirmeni ile çalışan zincirli pompa. Yeldeğirmenleri başta Hollanda olmak üzere birçok ülkede su pompalarını çalıştırmak için kullanılmıştır.



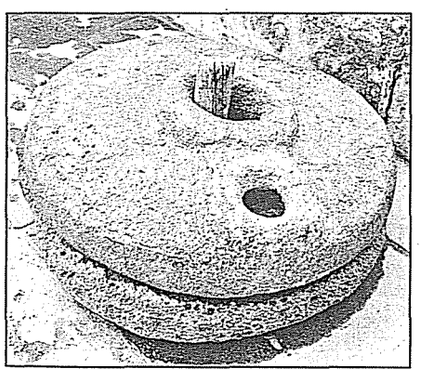
Şekil – 2.71: XVIII. yüzyılda Paris'de Seine nehrinin suyunu tepesindeki depoya çıkartan Notre Dame Köprüsü yanındaki pompa binasının boyuna kesiti. [Diderot, II, Levha 289].

BÖLÜM – 3

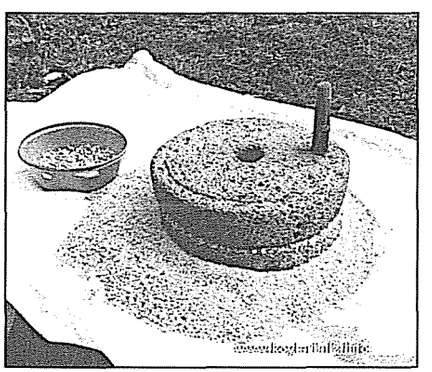
SU DEĞİRMENLERİ

SU DEĞİRMENİNİN DOĞUŞU

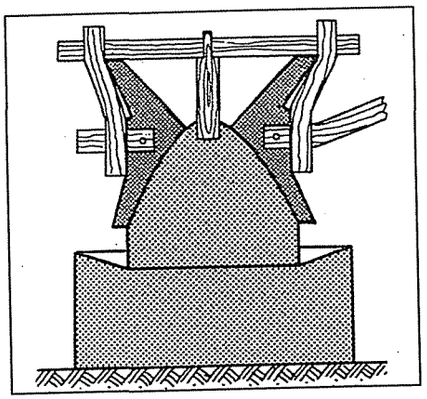
Değirmenin yani tahılların bir sabit taş ile bunun üzerinde döndürülen ikinci bir döner taş arasında öğütülerek un haline getirilmesi yönteminin bulunuşunun geçmişi çok eskiye dayanır, Başlangıçta kullanılan dönen taşın el ile çevirildiği el değirmenlerinde taşlar 50 – 100 cm çapında ve 10 cm kalınlığında olup bunların öğütme kapasiteleri de düşüktür. El değirmenlerinde genellikle düz taşlar kullanıldığı gibi Roma döneminde konik taşlar da kullanılmıştır. (Şekil – 3.1, 3.2, 3.3 ve 3.4). Temel besinin ekmek olması nedeniyle giderek artan nüfus ve buna bağlı olarak giderek artan un gereksinmesi öğütme alanında yeni arayışlara neden olmuştur. Bunun sonucunda değirmen taşlarının daha büyütülerek başlangıçta at veya öküz gücü ile, daha sonra su gücü ile ve çok sonraları da bunun yanında rüzgâr gücü ile de döndürülmesi gündeme gelmiştir. (Şekil – 3.5, 3.6, 3.7, 3.8 ve 3.9).



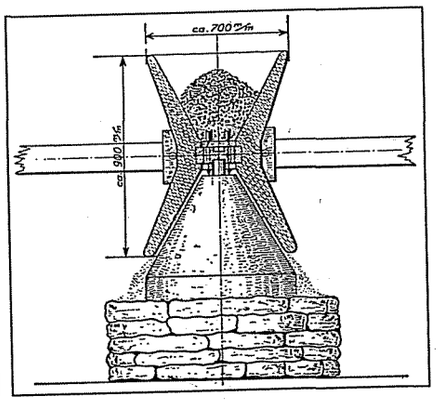
Şekil – 3.1: Bir el değirmeni. Üstteki taşı yuvaya takılan bir sap ile çevrilir. [Bir, Acar ve Kaçar, s.13].



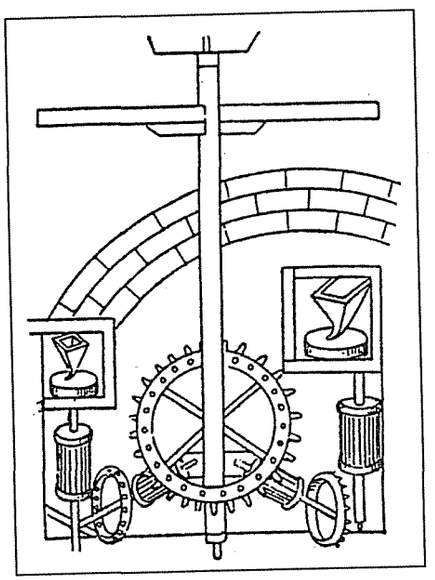
Şekil – 3.2: Günümüzde Anadolu'da bulgur öğütmek için kullanılan bir el değirmeni.



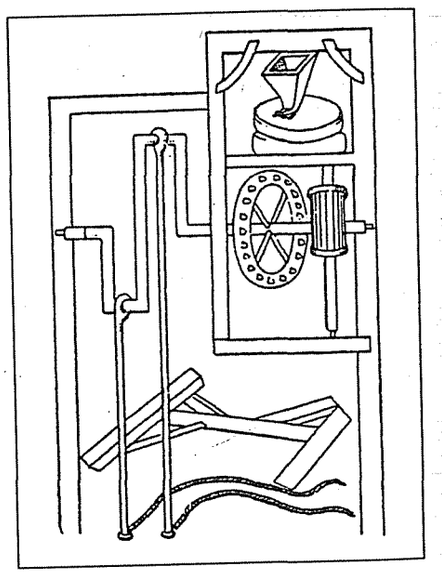
Şekil – 3.3: Elle döndürülen konik taşlı kum saati biçimli Roma değirmeni. (İ.S. I. yüzyıl). [Kretzchmer, s. 26].



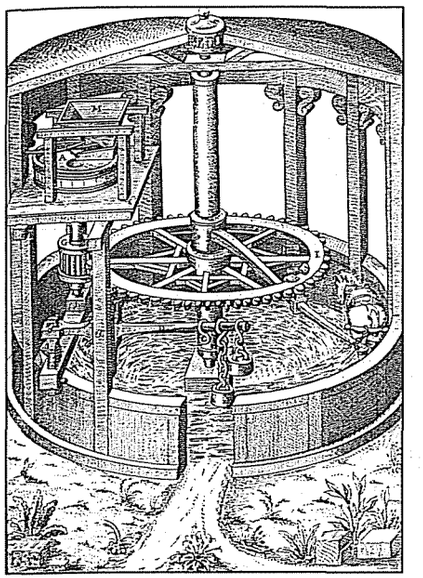
Şekil – 3.4: Pompei kazılarında bulunmuş iki kişi tarafından elle döndürülen kumsaati biçimindeki konik roma değirmeni. [De Camp, s. 227].



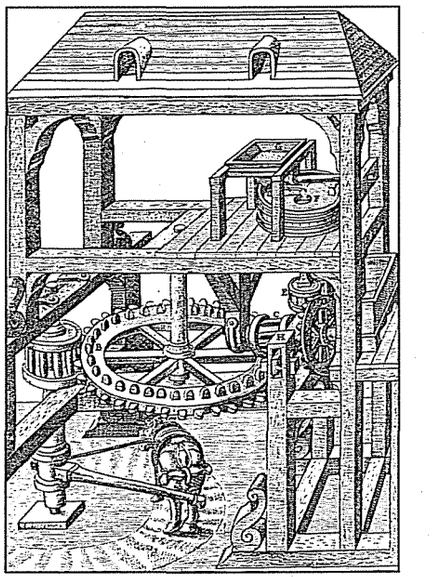
Şekil – 3.5: At ile çalıştırılan bir değirmen. (1430 dolayları). [Usher, s. 171].



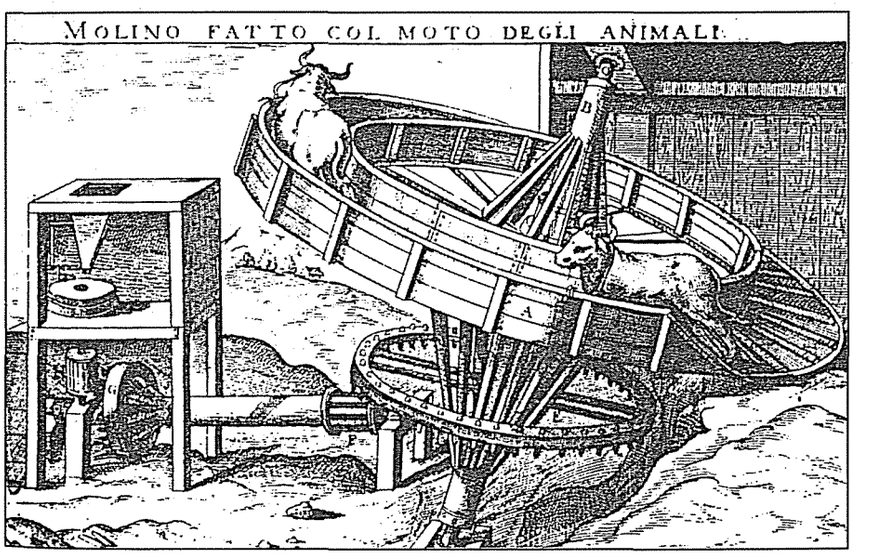
Şekil – 3.6: : Krank sistemi ile çalışan bir değirmen. (1430 dolayları). [Usher, s. 171].



Şekil – 3.7: At ile çalışan bir değirmen tasarımı. (1588). [Ramelli, s. 307/Levha 120].



Şekil – 3.8: At ile çalışan başka bir değirmen tasarımı. (1588). [Ramelli, s. 311/Levha 122].

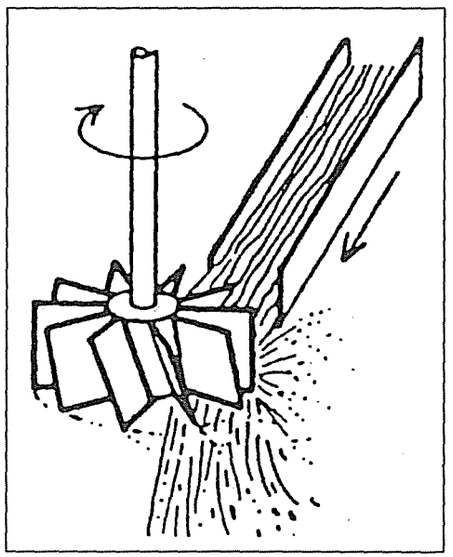


Şekil – 3.9: Öküz gücüyle çalışan bir değirmen. (1607). Eğimli çark üzerinde yürüyen hayvanların ağırlığı ile çark dönmekte ve bu dönme hareketi de değirmene aktarılmaktadır. [Varchmin ve Radkau, s. 41].

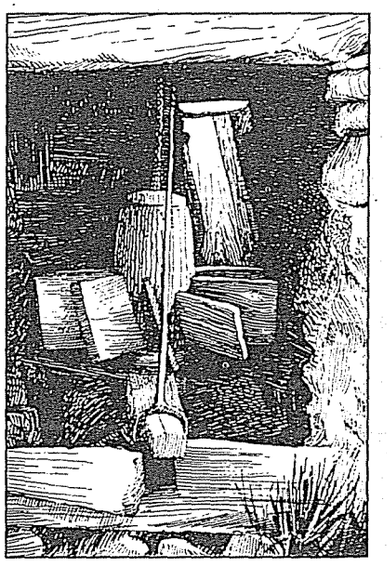
YATAY ÇARKLI SU DEĞİRMENLERİ

Su değirmenleri Doğu Akdeniz yöresinde İ.Ö. I. yüzyıldan beri kullanılmaktadır ve Roma döneminin sonlarına doğru yaygınlaşmaya başlamıştır. Eskiçağ'ın bir buluşu olan su değirmeni Ortaçağ'da gelişerek bir "teknik kurum" biçimine gelmiştir.

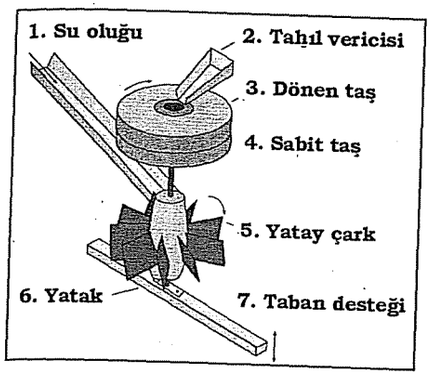
Su gücü ile çalışan ilk değirmenler yatay su çarkı kullanılarak yapılmıştır. Bunlar tasarım olarak basittir ve dişli içermezler. Su çarkı ile değirmen taşı aynı milin üzerindedir. Bunlar yatay çarklı veya düşey milli değirmenler olarak adlandırılırlar. Bu tür su değirmenleri yüksek bir su düşüşüne gerek gösterirler ve acak bunu sağlayan bölgelerde kurulabilirler. Bunlar kuzey ülkelerinde yaygınlaşmış olduklarından Avrupa'da *İskandinav değirmeni* olarak da adlandırılırlar. Anadoluda'ki eski değirmenlerin çok büyük bir çoğunluğu da bu tiptendir. (Şekil – 3.10 — 3.18).



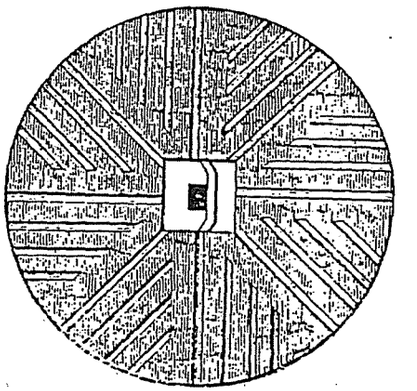
Şekil – 3.10: Yatay çarklı değirmenin (İskandinav değirmeni) çalışma ilkesi. [Cossons, s. 47].



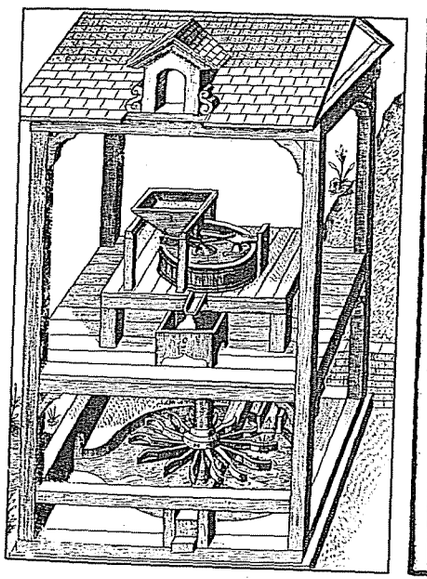
Şekil – 3.11: İngiltere'de Shetland'da tahtadan yapılmış İskandinav tipi yatay değirmen çarkı. [Derry ve Williams, s. 251].



Şekil – 3.12: Yatay çarklı bir değirmenin çalışma şeması. [Palmer ve Neaverson, s. 55].

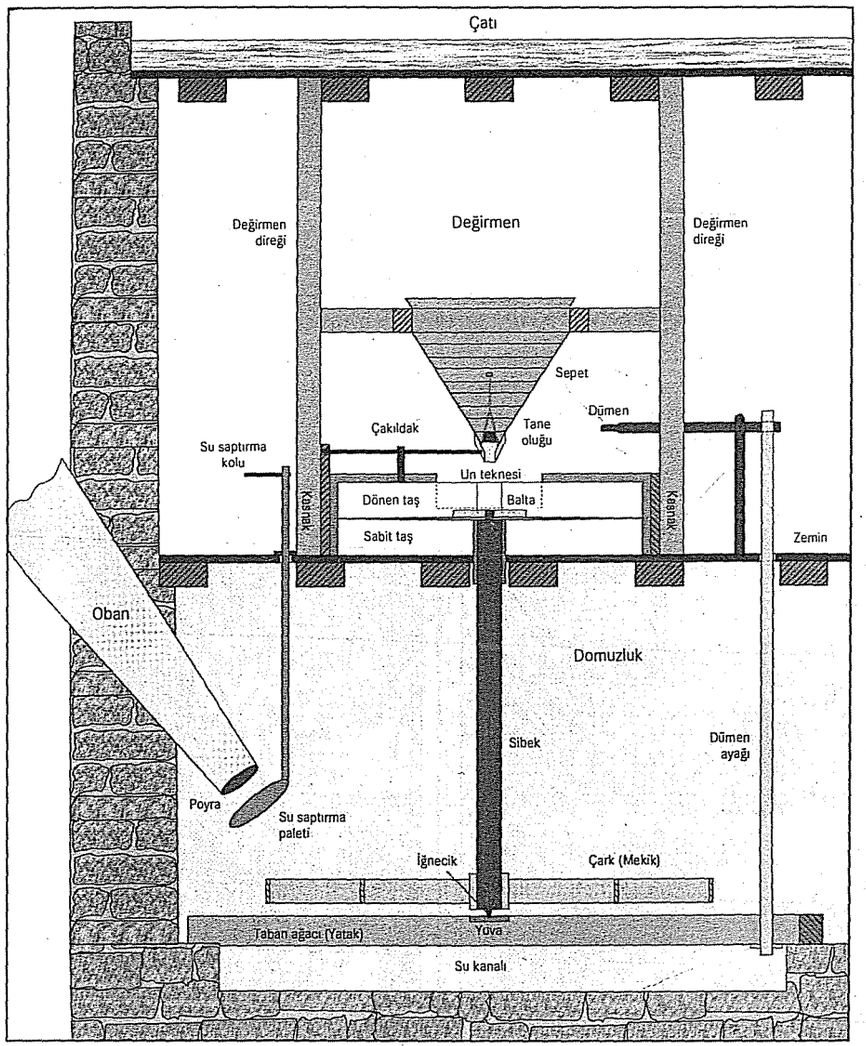


Şekil – 3.13: Bir değirmen taşı ve üzerindeki yivler. [Cossons, s. 20].

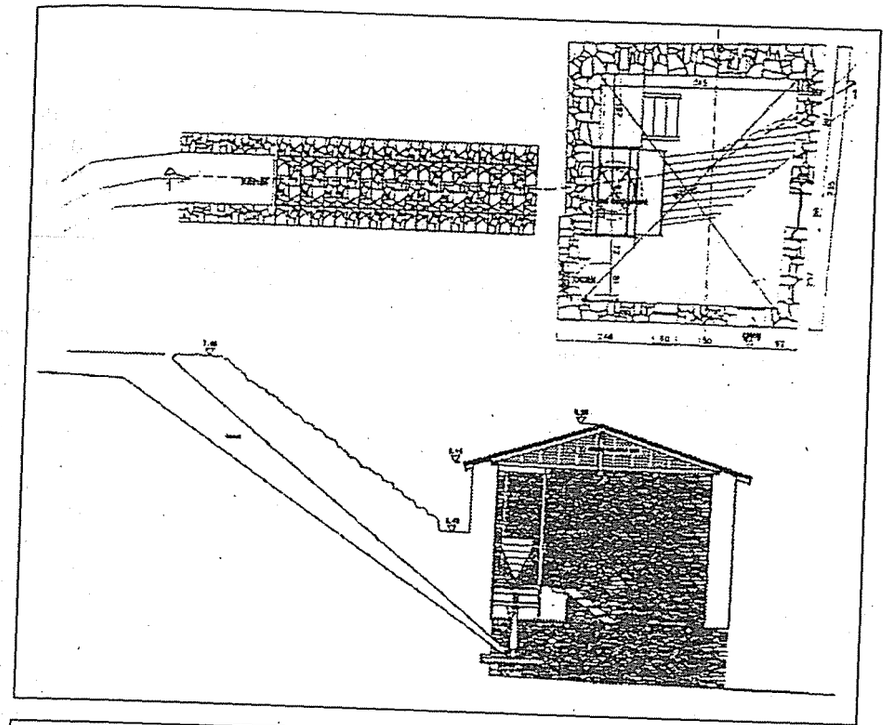


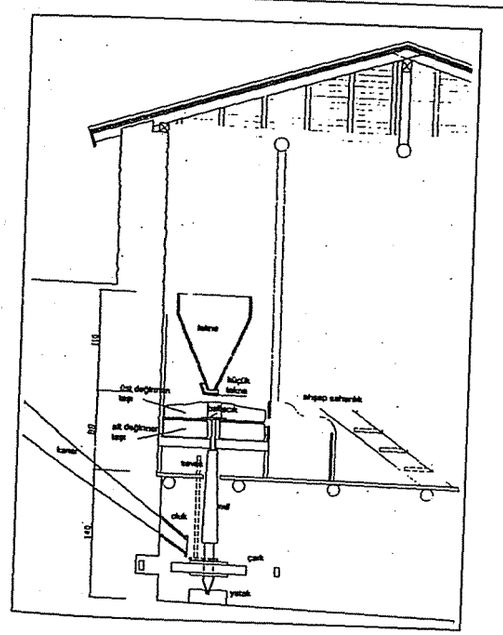
Şekil – 3.14: Akarsu ile çalışan yatay çarklı bir değirmen tasarımı. (1588). [Ramelli, s. 293/Levha 114].

Şekil – 3.15: Öğütülmek üzere eşeği ile buğday getiren çıplak ayaklı köylü ve değirmenci. (1568). [Amman, s. 48].



Şekil – 3.16: Yatay çarklı bir su değirmeninin ana hatları ile kesiti. [Bir, Acar ve Kaçar, s. 53]. Bir değirmende öğütülenin tanecik büyüklüğünü belirleyen şey iki değirmen taşı arasındaki aralıktır. Aralık ne kadar az ise o kadar ince ve aralık ne kadar fazlaysa o kadar kaba bir öğütme sağlanır. Bunun için taşlar arasındaki aralığın ayarlanabilmesi gereklidir. Bu ayarlama düşey eksenin alt ucunun altındaki desteği bir kaldıraç düzeneği ile yukarı ve aşağı hareket ettirerek yapılır.





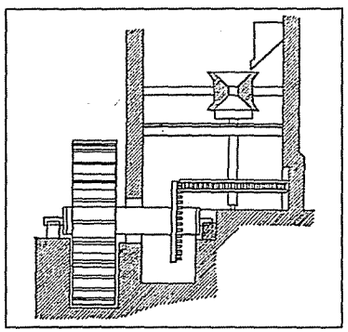
Şekil – 3.17: İstanbul'da Beykoz'a bağlı Mahmut Şevket Paşa Köyü'nde bulunan ve 1960'lı yılların başına kadar çalışmış olan düşey milli (yatay çarklı) değirmenin plan ve kesiti (üstte) ile çalışma sistemini gösteren ayrıntılı kesiti (solda). [Bir ve Kayral, s. 74].

DİKEY ÇARKLI SU DEĞİRMENLERİ

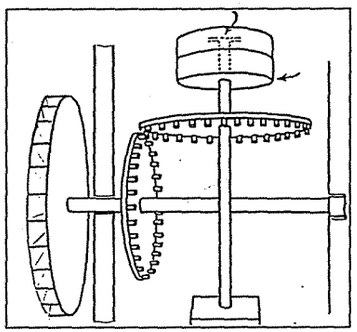
Doğrudan akarsular veya küçük su düşüşleri ile dönebilen dikey su çarkları yatay su çarklarına oranla çok daha geniş bölgelerde kullanılabilir. Dikey çarklı değirmenler çok daha eski dönemlerden beri kullanılan su dolaplarının daha küçük boyuta indirgenerek bir güç kaynağı olarak kullanılmasıyla Roma döneminde ortaya çıkmıştır ve bu tür bir değirmenin tanımı ilk kez Vitruvius (İ.Ö. 90 – 20) tarafından verilmiştir. Vitruvius dikey bir su çarkına bağlı olan değirmeni aşağıdaki biçimde tanımlamaktadır.[1]

> "Aksın bir ucuna oturtulmuş dişli bir disk olur. Bu disk aksın kenarına dik olarak yerleştirilmiştir, tekerlekle birlikte döner durur. Buna bitişik daha büyük bir disk daha vardır, yatay olarak oturtulmuştur ve küçük diskle birlikte işyleyen dişleri bulunur. Aksa dik olarak oturtulmuş küçük diskin dişleri bu yatay diski harekete geçirir ve değirmen taşının dönmesine sebep olur. Bu düzeneğin üzerine asılı bir huni, değirmen taşına buğdayı döker; o da döne döne bunu öğütüp un haline getirir."

Bu tür değirmenlerde su çarkının çevirdiği yatay mildeki hareketin buna dik konumda olan ve değirmen taşını çeviren dikey mile bir dişli sistemi ile aktarılması gerekir ve bu da değirmen tasarımını karmaşıklaştırır. (Şekil – 3.18 – 3.25).

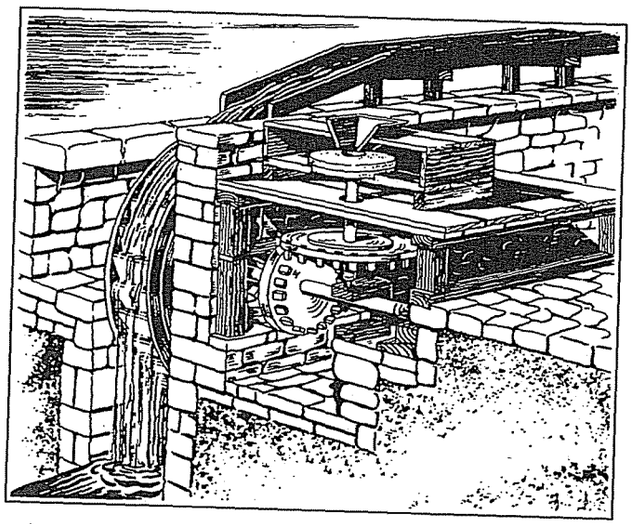


Şekil – 3.18: Vitruvius'un tanımladığı değirmenin temel yapısı. [Usher, s. 169].



Şekil – 3.19: Dikey çarklı su değirmeninin temel dişli sistemi. [Landels, s. 17].

1 Vitruvius, *Mimarlık Üzerine,* Çeviren Çiğdem Dürüşken, 3. baskı, İstanbul 2018, s. 392.

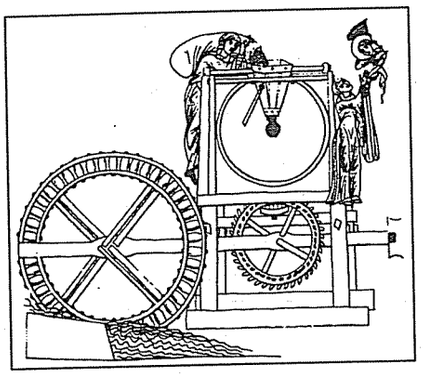


Şekil – 3.20: V. yüzyıla ilişkin bir Roma değirmeni. [Basalla, s. 196].

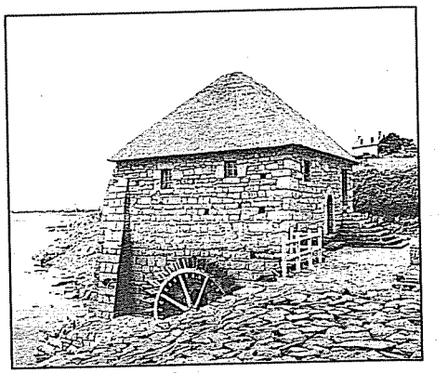
Şekil – 3.21: Dikey çarklı su değirmeninin bilinen en eski basılı resimlerinden biri. (1423 tarihli tahtaoyma resim). [Finch, s. 99].

Şekil – 3.22: 1086'da İngiltere'de akarsu sistemleri ve su değirmenleri. Bu tarihte İngiltere'de 7500'den fazla değirmen vardı.[2] [Gimpel, s. 11].

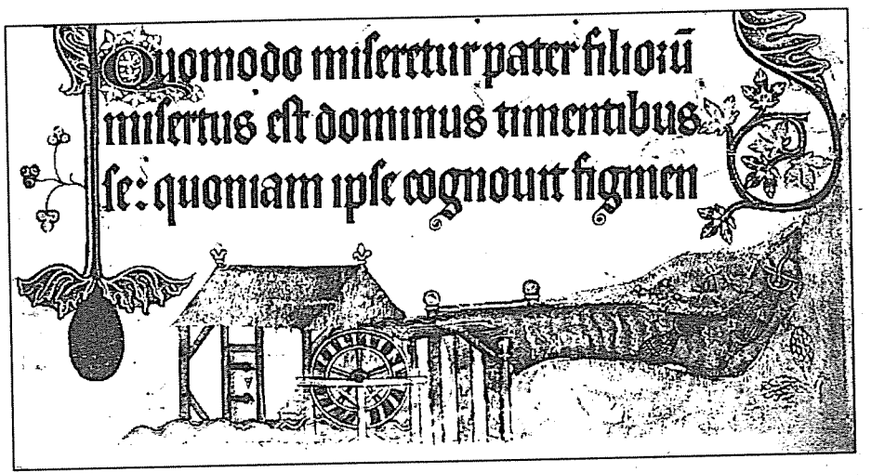
2 İngiltere'de XI. yüzyılda ortalama 50 haneye bir değirmen düşüyordu. Bununla birlikte Wiltshire'de 26 haneye ve Suffolk'da 93 haneye bir değirmen düşüyordu.



Şekil – 3.23: XII. yüzyıla ilişkin dikey çarklı ve alttan akışlı bir su değirmeninin dişlileri. [Gimpel, s. 8].

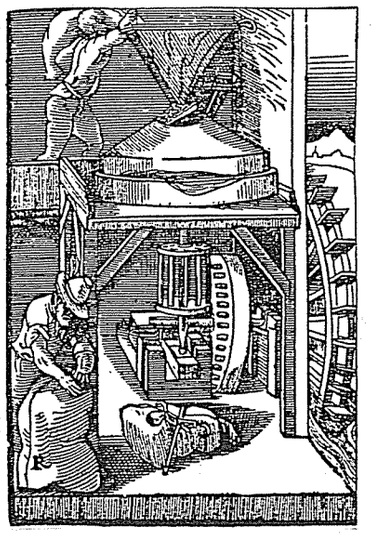


Şekil – 3.24: Kuzey Fransa'da Ortaçağ'dan kalma bir değirmen.

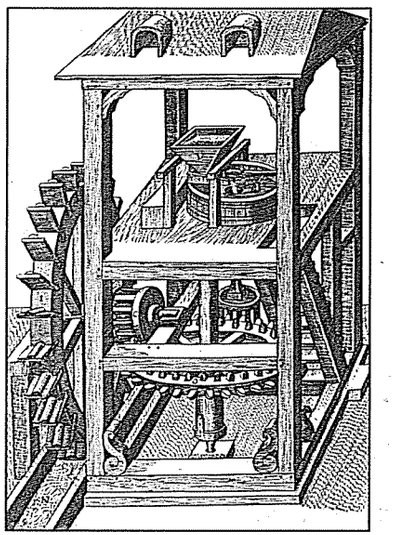


Şekil – 3.25: XI. yüzyılda yazılmış olan *Doomday* [Kıyamet Günü] adlı kitapta bulunan dikey çarklı su değirmeni resmi. [Williams, s. 8].

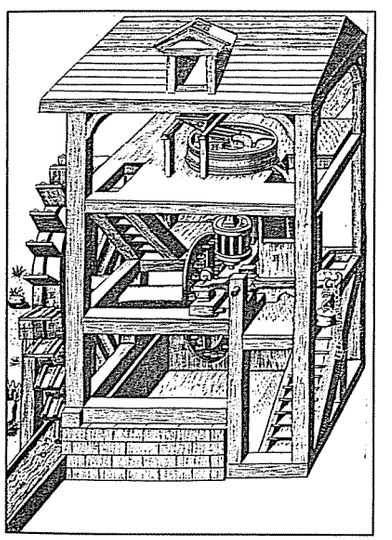
Dikey su çarkı sistemi bir kez gelişip yerleştikten sonra değirmen taşlarının çevrilmesinin yanında değişik amaçlarla da güç kaynağı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Artan nüfusla birlikte değirmencilik giderek önem kazanmış ve bir sanayi dalı haline gelmiştir. (Şekil – 3.26 – 3.37).



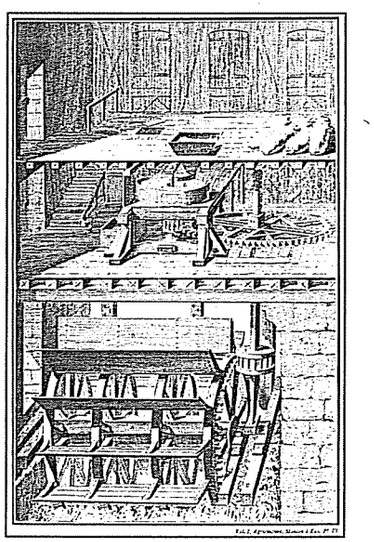
Şekil – 3.26: Vitruvius'un tanımladığı dikey çarklı su değirmeni. [Lilley, s. 38].



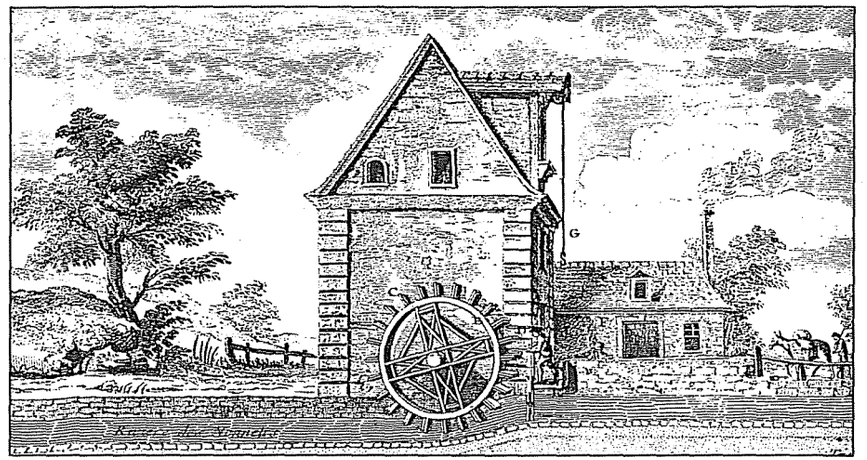
Şekil – 3.27: Farklı bir dişli sistemi içeren dikey çarklı değirmen tasarımı. (1588). [Ramelli, s. 291/Levha 113].



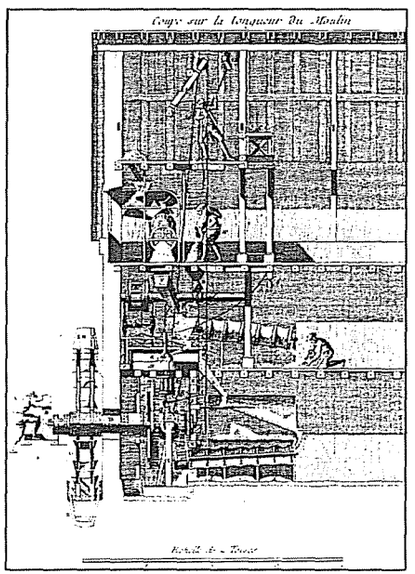
Şekil – 3.28: Dikey çarklı değirmen tasarımı ve dönen taşı yukarı kaldırma sistemi. (1588). [Ramelli, s. 303/Levha 118].



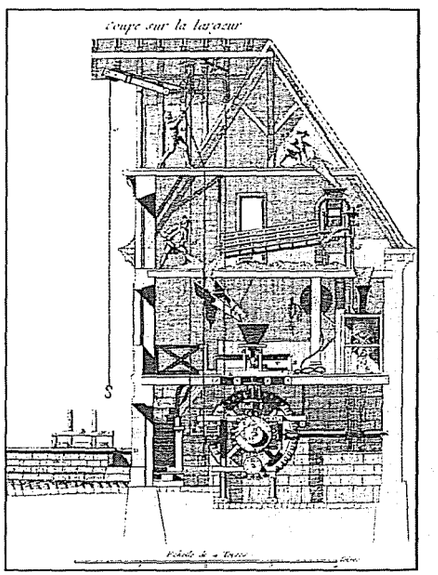
Şekil – 3.29: XVIII. yüzyılda farklı tipte bir su çarkı ile çalışan değirmen. [Diderot, I, Levha 18].



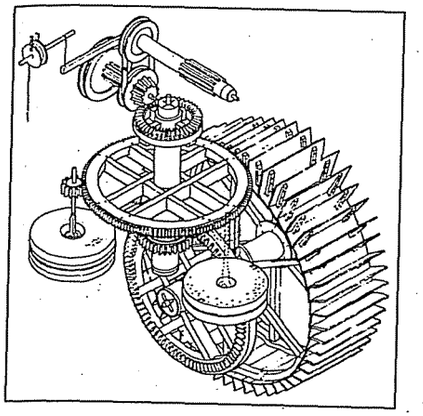
Şekil – 3.30: XVIII. yüzyılda Fransa'da büyük ve un fabrikasına dönüşmüş bir değirmenin genel görünümü. [Diderot, I, Levha 19].



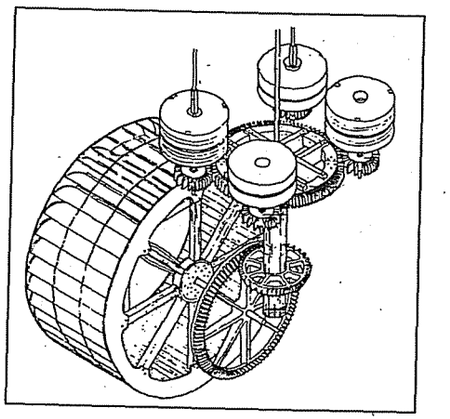
Şekil – 3.31: Yukardaki değirmenin boyuna kesiti. [Diderot, I, Levha 20].



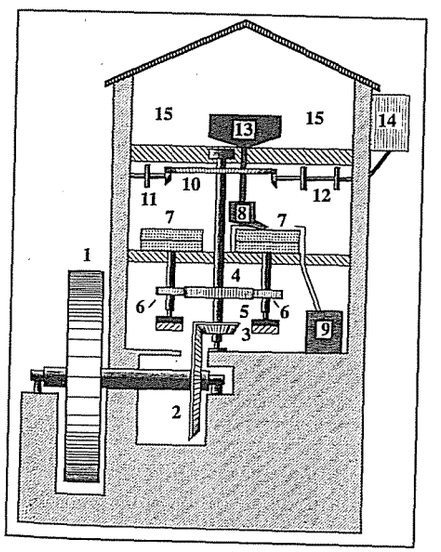
Şekil – 3.32: Yukardaki değirmenin enine kesiti. [Diderot, I, Levha 21].



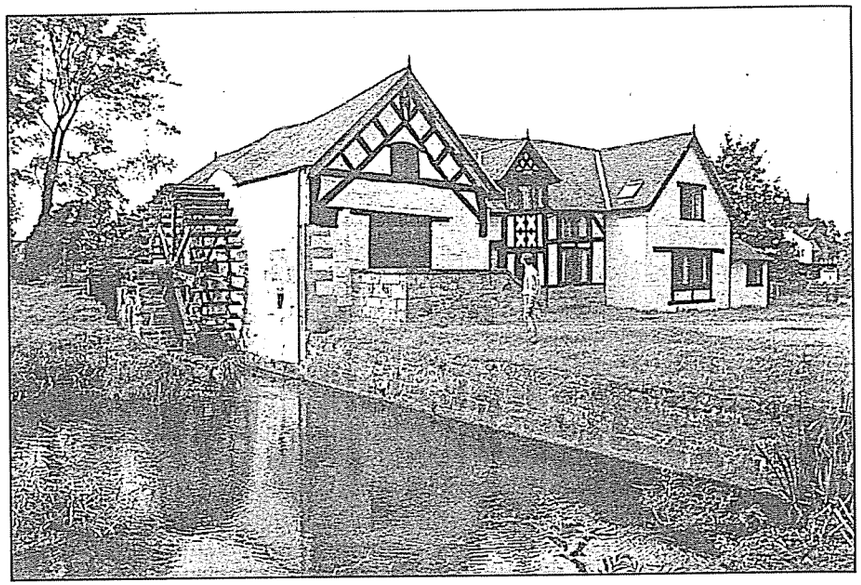
Şekil – 3.33: İngiltere'de Norfolk'daki Hunworth'de bulunan ve 1775'de yapılmış olup alt gövde akışlı su çarkı ile çalışan su değirmeninin dişlileri. Bu değirmenin ağaçtan yapılmış olan tüm dişileri günümüzde de yerinde durmaktadır. [Major, s. 237.



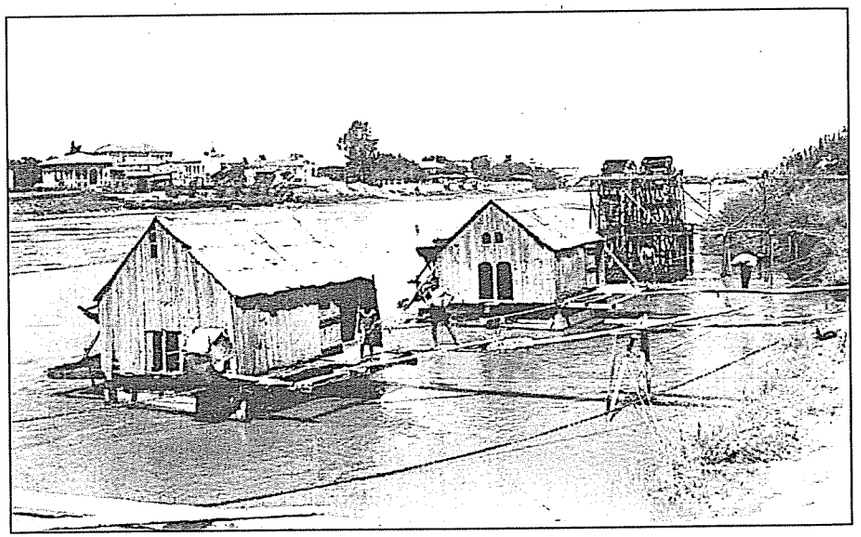
Şekil – 3.34: İngiltere'de Cumbria yakınlarındaki Beetham'da bulunan Heron Corn Mill [Heron Tahıl Değirmeni]'nde su çarkı ve dişlilerin yerleşimi. XIX. yüzyıl başlarında yapılmış olan bu değirmende demir ve ağaç dişliler ile demirden yapılmış su çarkı kullanılmıştır. [Major, s. 239]



Şekil – 3.35: Su çarkı ile çalışan gelişmiş bir değirmenin kesiti. [Palmer ve Neaverson, s. 56]. (1) su çarkı, (2) ve (3) hareketin yönünü 90° çeviren konik dişliler, (4) ana şaft, (5) hareketi taşlara aktaran büyük dişli (alın dişlisi), (6) taşları çeviren dişliler, (7) değirmen taşları, (8) tahıl besleme düzeneği. (9) un toplama deposu, (10) konik dişli, (11) yardımcı makineleri çalıştıran kasnak, (12) tahıl çuvallarını kaldırmak ve yardımcı makineleri çalıştırmak için kasnaklar (13) tahıl besleme kabı, (14) lucam, (15) tahıl deposu.



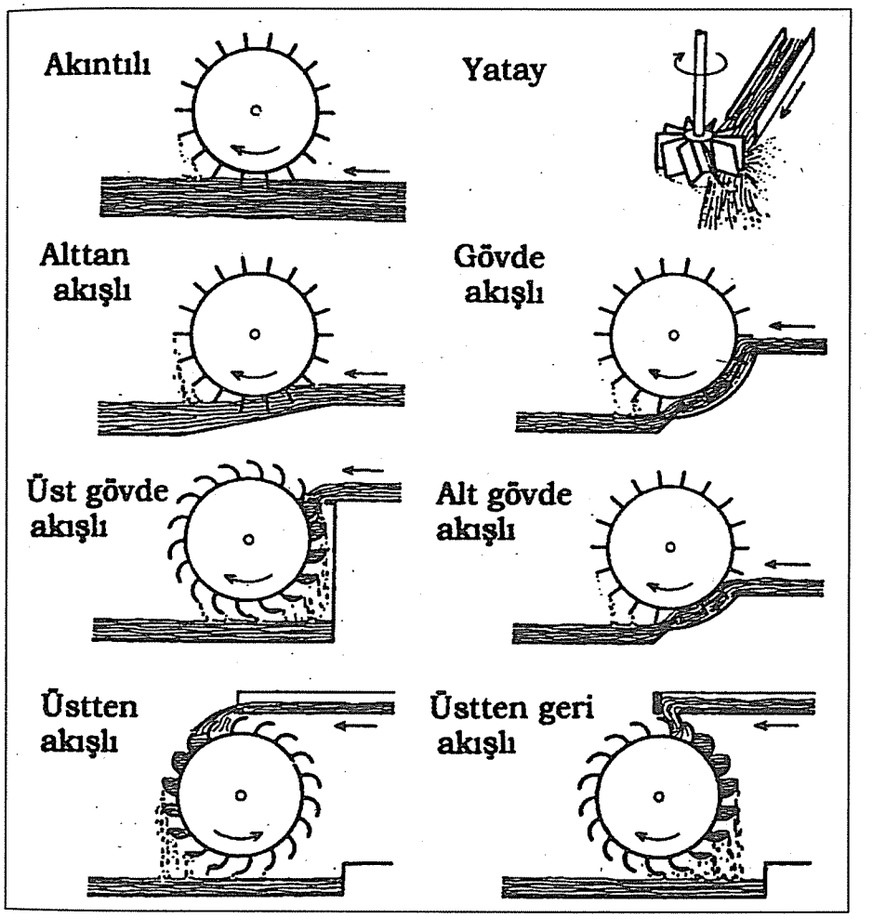
Şekil – 3.36: Günümüzde farklı amaçlarla kullanılan İngiltere'de Clwyd'deki Rossett Mill'in 1970'deki görünümü. [Cossons, s. 56].



Şekil – 3.37: Nehirlerin üzerinde yüzen ve dikey su çarkı ile çalışan sal değirmenlere örnek olarak 1930'lu yıllarda Adana'da Seyhan nehri üzerinde bulunan sal değirmenler. İlerde nehirden su kaldıran noria görülmektedir. [E. Dölen koleksiyonu].

BİR GÜÇ KAYNAĞI OLARAK SU ÇARKI

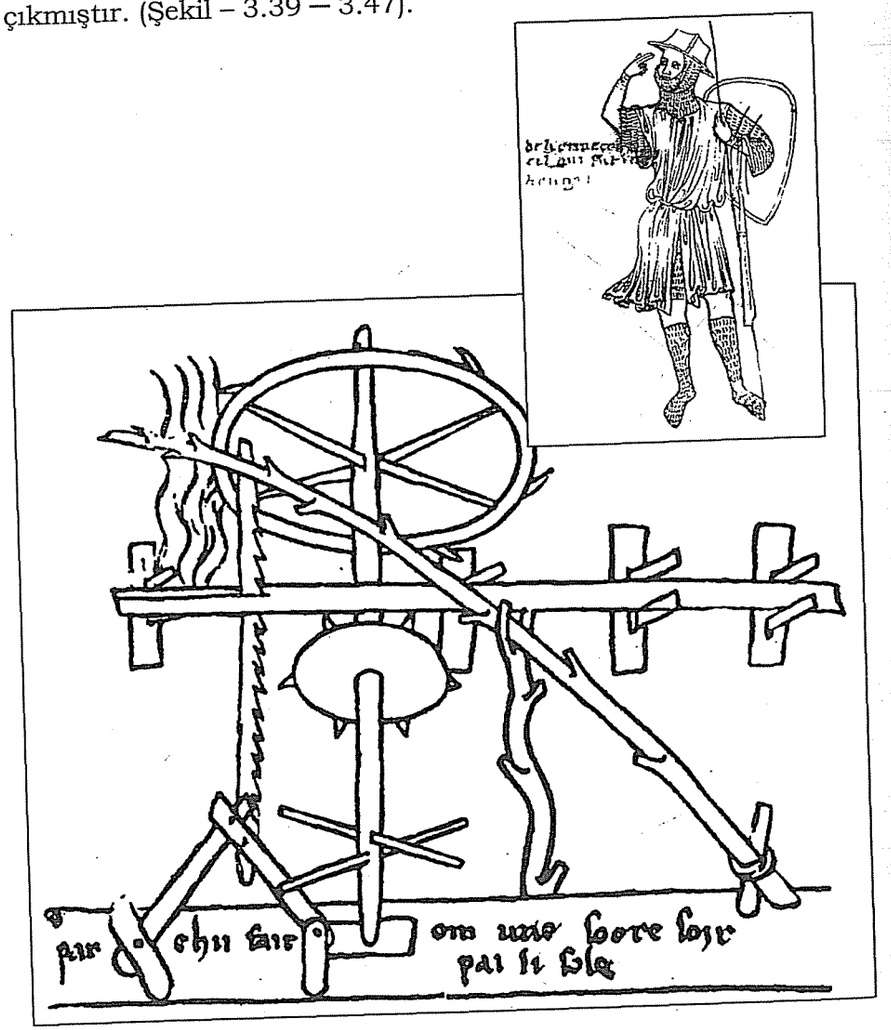
Ortaçağ'da gelişen ekonomi ve teknoloji sonucunda üretimde bir patlama ve *Ortaçağ Sanayi Devrimi* adı verilen olay meydana gelmiştir. Bu dönemde su çarklarının un değirmenlerinin dışında da bir güç kaynağı olarak kullanılabileceği görülmüştür. (Şekil – 3.38).



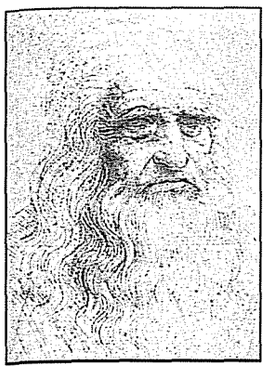
Şekil – 3.38: Su çarklarının tipleri. [Cossons, s. 47].

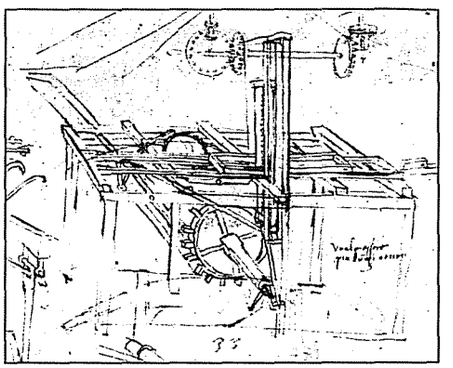
Bundan sonra su çarkları başta metalurjik işlemlerde körüklerin ve büyük çekiçlerin çalıştırılması, madenlerdeki suyun çekilmesi, topların delinmesi, metallerden tel çekilmesi

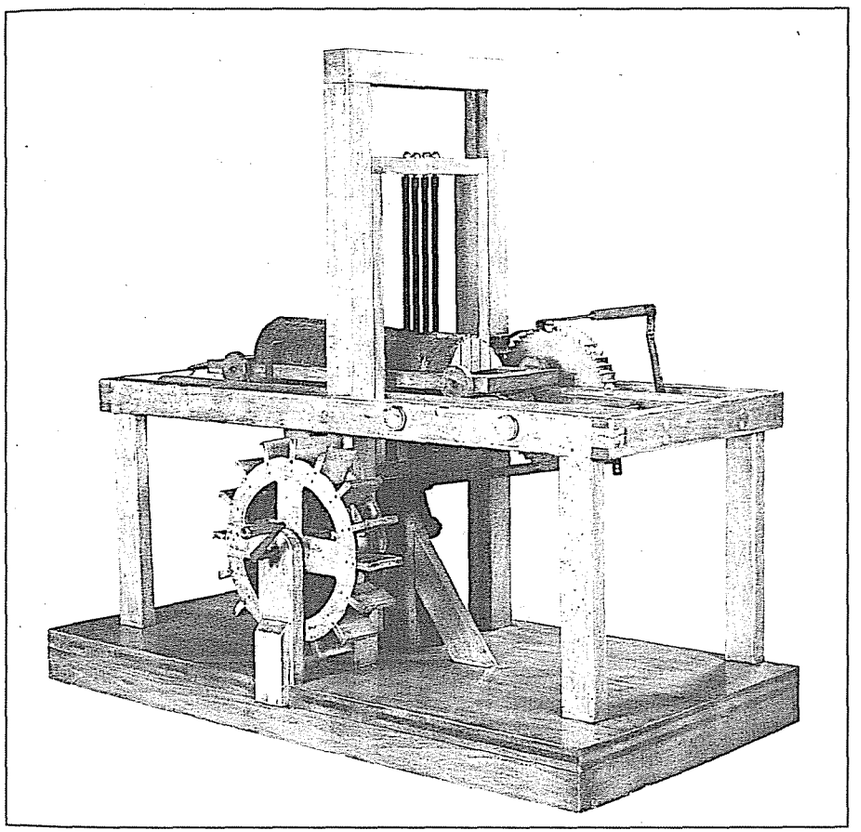
ve kâğıt hamurunun hazırlanması gibi alanlarda yaygın biçimda güç kaynağı olarak kullanılmaya başlanmıştır. XVIII. yüzyıla gelindiğinde değirmenlerde değirmen milinden hareket alan ve tahıl çuvallarını değirmenin üst katına çıkartmak veya başka makineleri çalıştırmak için kullanılan kasnaklar ortaya çıkmıştır. (Şekil – 3.39 – 3.47).



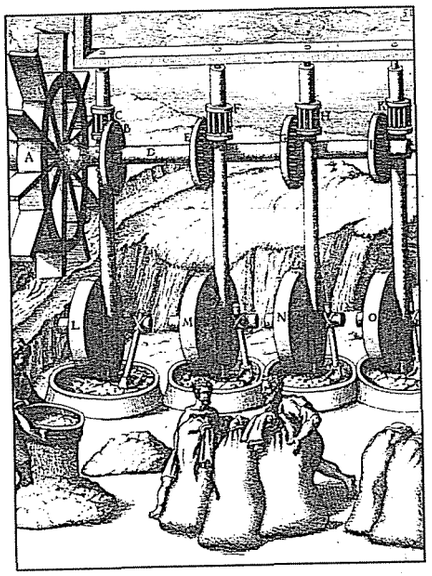
Şekil – 3.39: XIII. yüzyılda Kuzey Fransa'da Picardy'de yaşamış olan Willard de Honnecourt'un çizimlerinden su çarkı ile çalışan hızar. Kütük biçildikçe bir mekanizma kütüğü testereye doğru itmektedir. Üstte kendi çizimiyle Willard de Honnecourt. [Gimpel, s. 127].



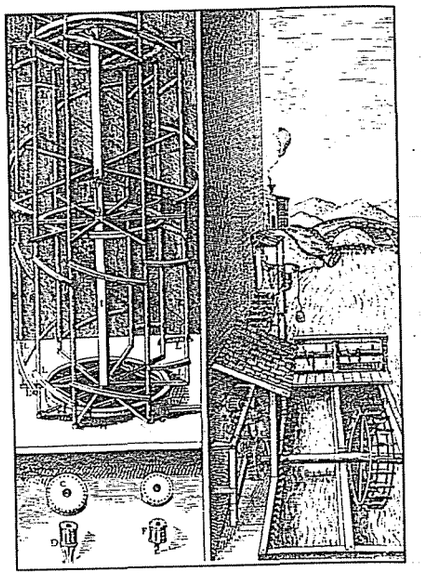




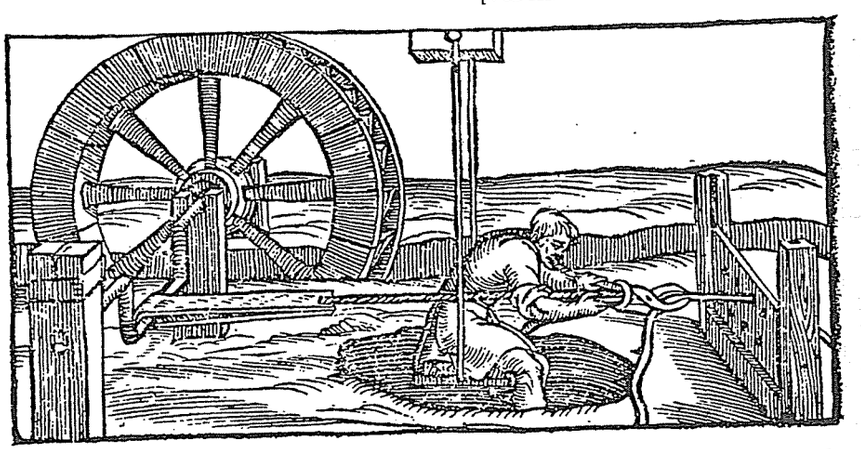
Şekil – 40: Leonardo da Vinci (1452 – 1519) tarafından yapılmış su çarkı ile çalışan bir hizar tasarımı ve bu tasarımın tahtadan yapılmış çalışır modeli. Burada testerenin her hareketinden sonra bir mekanizma kütüğü testereye doğru itmektedir. [*Leonardo: Evrensel Deha*, s. 88 – 89].



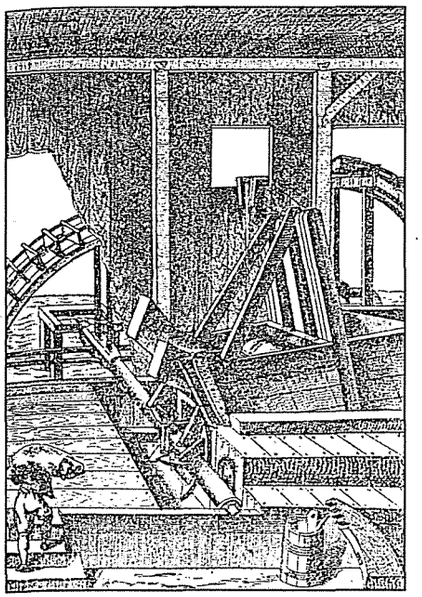
Şekil – 3.41: George Andreas Böckler'in Nuremberg'de 1673'de yayınlanan *Theatrum Machinarum Novum* adlı kitabındaki değişik türden bir değirmenin resmi. [Bernal, II, s. 495].



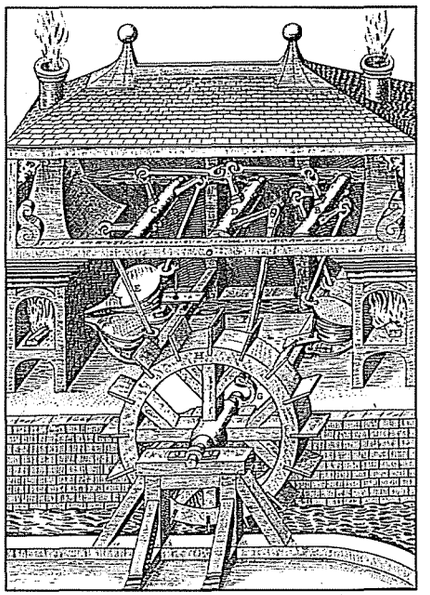
Şekil – 3.42: Su çarkının güç kaynağı olarak kullanılmasının erken örneklerinden biri ipek ipliğinin eğirilmesidir. 1272'de Bologna'da başlayan bu uygulamayı gösteren 1607 tarihli bir resim. [Varchmin ve Radkau, s. 45].



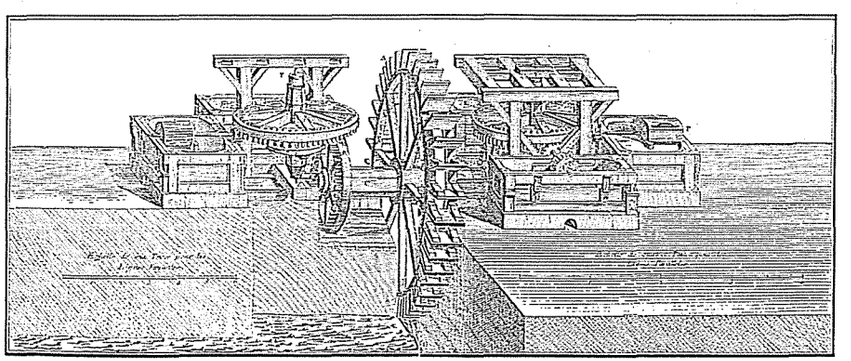
Şekil – 3.43: XVI. yüzyılda su çarkına bağlı bir krank yardımıyla metal tel çekilmesi. [Biringuccio, s. 380].



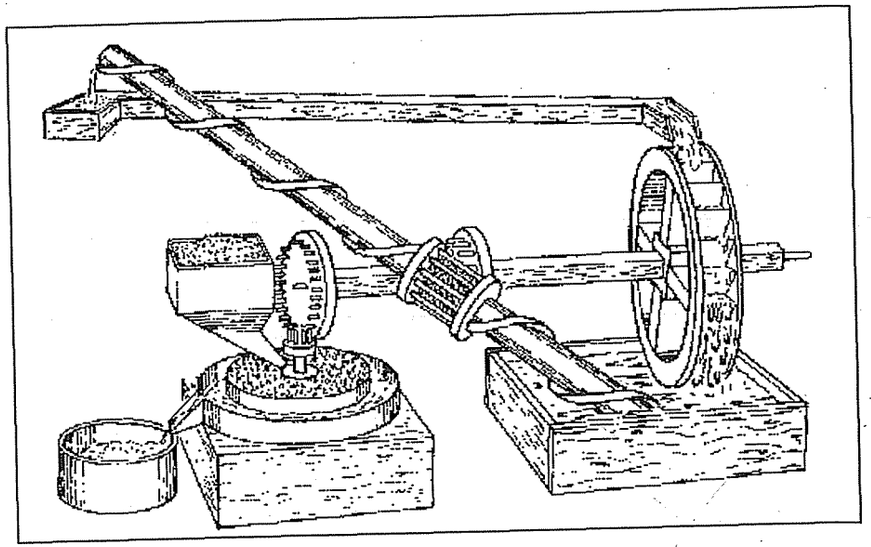
Şekil – 3.44: Su gücü ile çalışan ve kumaşların tokmaklanarak harelendirilmesinin yapıldığı çırpıcı dibeği'nin XVI. yüzyıla ilişkin gelişmiş bir örneği. [Lilley, s. 47].



Şekil – 3.45: Bir deminci atölyesindeki körüklerin bir su çarkı yardımıyla ve karmaşık bir mekanızma ile çalıştırılması. (1588). [Ramelli, s. 343/Levha 137].

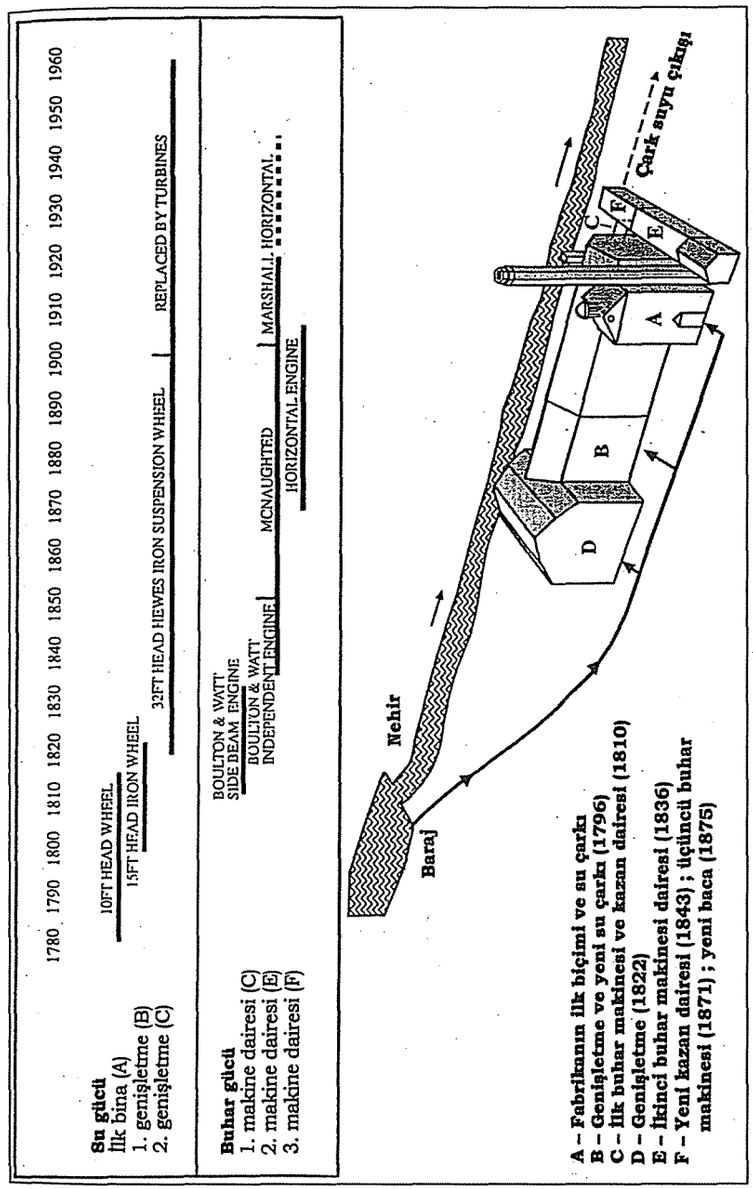


Şekil – 3.46: XVIII. yüzyılda Fransa'daki l'Anglée Kâğıt Fabrikası'nda su çarkı ile çalıştırılan hollanderler ile kâğıt hamuru hazırlanması. [Diderot, II, Levha 359]



Şekil – 3.47: Suyun devri ile çalışacağı varsayılan bir devr-i daim makinesi ile un öğütülmesine ilişkin tasarım. Doğal olarak bir sistemin iş yapabilmesi için dışarıdan enerji verilmesi gerektiğinden böyle bir sistem çalışamaz.

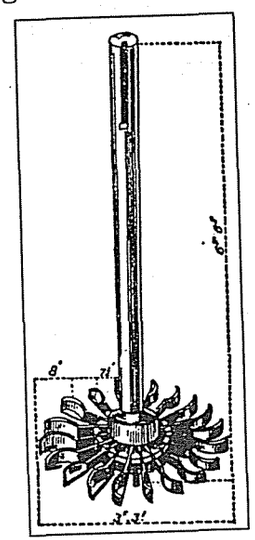
XVIII. yüzyıl ortalarında Sanayi Devrimi ortaya çıktığında buhar makinesi henüz döner hareket verecek düzeye kadar gelişmemiş olduğundan geleneksel güç kaynağı olarak su çarkları kullanılmıştır. Başlangıçta küçük işletmeler doğrudan hazır su çarkı bulunan değirmenlere kurulmuş ve daha sonra gelişip genişleyerek değirmenlerin yanında ayrı birer işletme haline gelmişlerdir. Bu nedenle İngilizcede değirmen anlamına gelen "mill" sözcüğü aynı zamanda fabrika anlamını da yüklenmiştir. Buhar makinesinin gelişiminden sonra fabrikalara buhar makineleri kurulmaya başlanmış olmakla birlikte çok daha ucuza enerji sağlayan su çarklarının da bunların yanında kullanılması sürdürülmüştür. İngiltere'de dokuma sanayii alanında 1835'de 10.000 HP su gücü ve 35.000 HP buhar gücü kullanılırken 1850'de 11.000 HP su gücü ve 71.000 HP buhar gücü kullanılmaktadır. Görüldüğü gibi su gücünün kullanılan toplam güç içindeki payı azalmakla birlikte miktarında % 10 dolayında bir artış olmuştur. Bir fabrikanın kullandığı güç kaynaklarının gelişimi (Şekil – 3.48)'de gösterilmiştir.



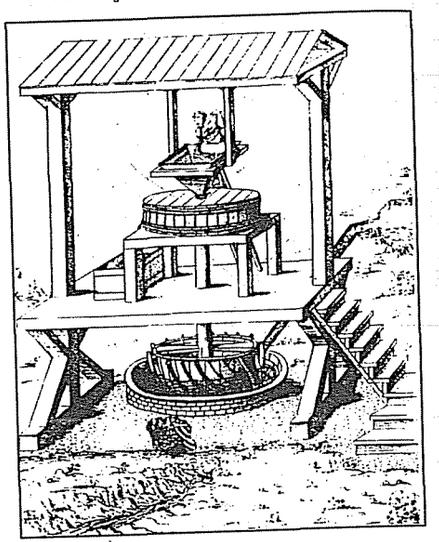
Şekil – 3.48: İngiltere'deki Cheshire'de bulunan Quarry Bank Mill pamuklu dokuma fabrikasının ve kullanılan güç kaynaklarının zaman içinde gelişimi. Buhar gücünün yanında su gücünün su türbini gibi daha etkin biçimlerinin de kullanımının sürdüğü görülmektedir. [Palmer ve Neaverson, s. 19].

SU TÜRBİNLERİ

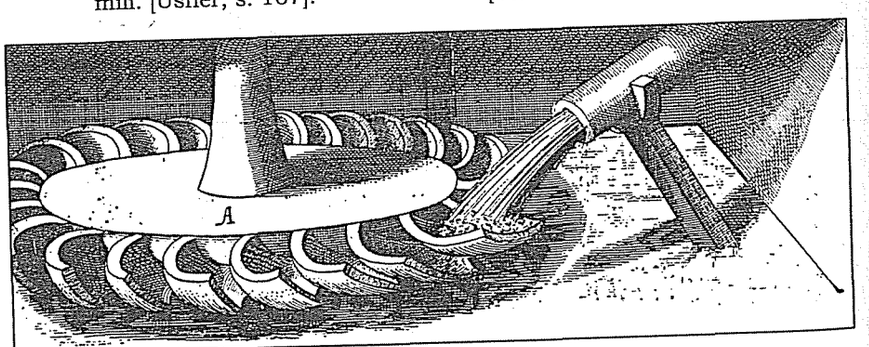
Yatay su çarkları zaman içinda gelişerek üzerlerinde kepçe biçiminde sık kollar bulunan ve su gücünü daha etkin kullandıkları için verimi daha yüksek olan türbin çarklarına dönüşmüştür. (Şekil – 3.49, 3.50, 3.51 ve 3.52). XIX. yüzyıl-da Prof. Claude Burdin (1790 – 1873) Latince *turbo* [hızlı dönüş] sözcüğünden *turbine* sözcüğünü türetmiştir.



Şekil – 3.49: İrlanda'da Drumtullogh'da bulunmuş Ortaçağ'a ilişkin yatay su çarkı ve mili. [Usher, s. 167].



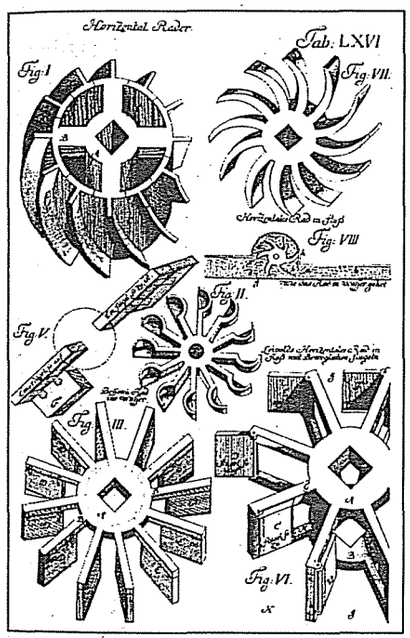
Şekil – 3.50: Türbin tipi yatay çarklı su değirmeninin erken örneklerinden biri. (1578). [Varchmin ve Radkau, s. 54].



Şekil – 3.51: Jacob de Straeda taarfından 1618'de yapıylmış olan impuls türbini. [Kirby, s. 186].

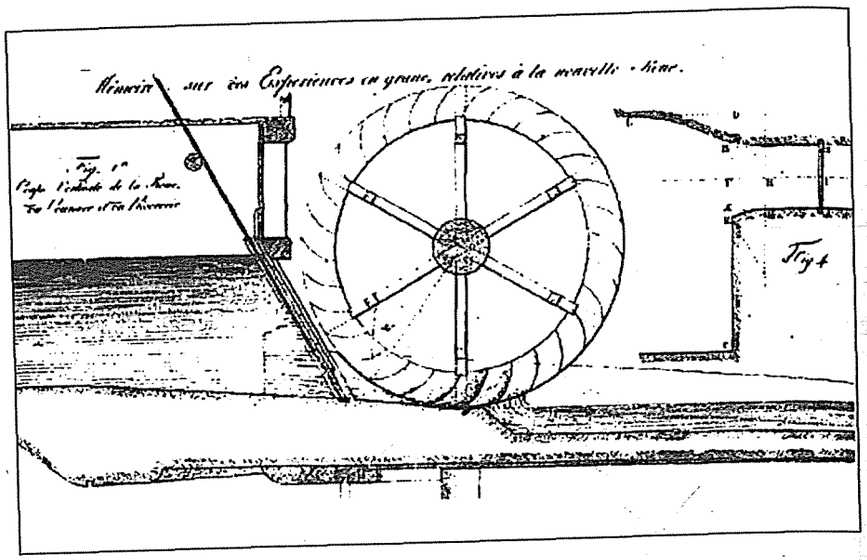
Su türbinleri genel olarak yüksek basınçlı su ile çalışırlar ve enerji verimleri yüksektir. Türbinlerin temel yapıları yatay veya dikey konumda olan kepçeli bir çarkın üzerine basınçı su gönderilmesine dayanır. Bu konuda çok sayıda tasarımlar yapılmıştır. Su türbinleri günümüzde hidroelektrik santrallerinde kullanır.

Poncelet türbini: Fransız askeri mühendis ve matematikçi Jean Victor Poncelet (1788 – 1867) (Şekil – 3.53) tarafından 1827'de tasarlanmış ve ilk kez 1838'de yapılmıştır. Fazla olmayan su düşüşleri için uygun olan bu türbin su çarkı ile gerçek türbin arasındaki geçişte bir ara basamaktır. Fransa'da popüler olan bu türbinin en önemle özelliği geniş olmasıdır. 1849'da İspanya'da Katalonya'daki Montserrat'da kurulan türbin 5,2 m çapında ve 9,2 m eninde olup 2 m lik su düşüşü ile çalışmaktadır. (Şekil – 3.54 ve 3.55).

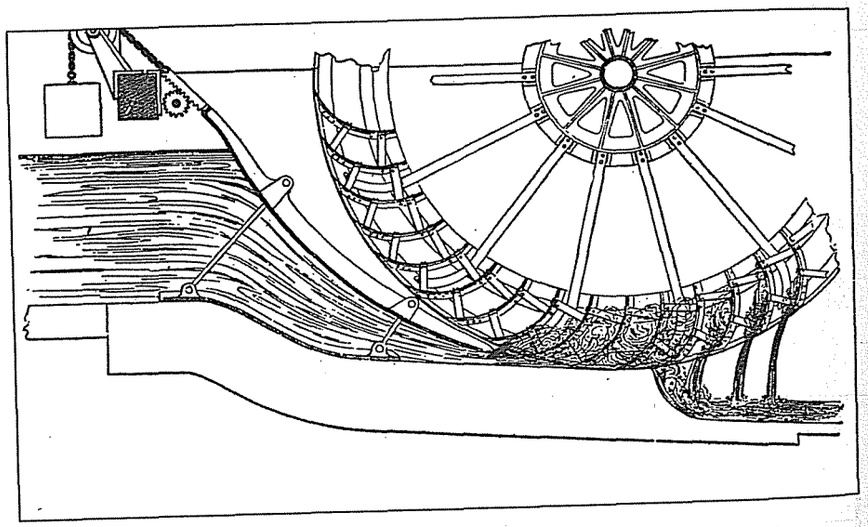


Şekil – 3.52: Jacop Leupold'un 1724'de yayınlanan kitabından zaman içinde gelişmiş olan çeşitli yatay çark örnekleri. [Varchmin ve Radkau, s. 52].

Şekil – 3.53: Jean Victor Poncelet. (1788 – 1867).



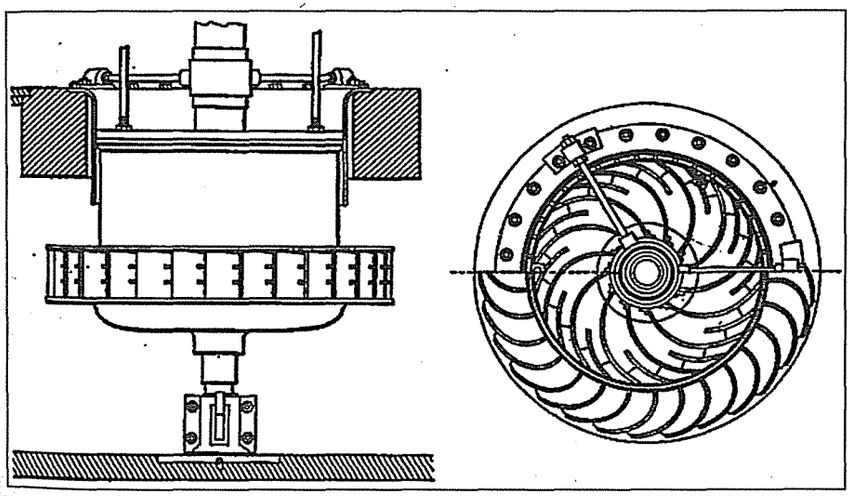
Şekil – 3.54: Poncelet'nin türbin konusunda yaptığı ilk yayınında verdiği şekil.



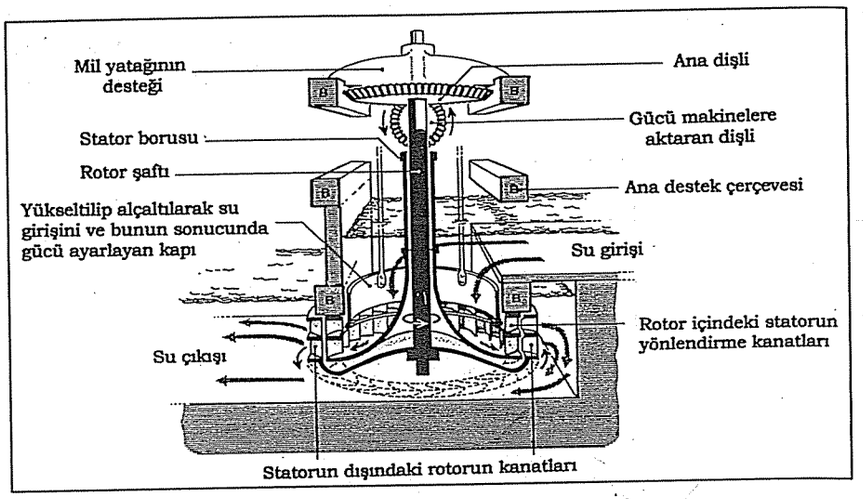
Şekil – 3.55: Poncelet türbininin çalışma ilkesi. [Kirby, s, 185].

Fourneyron türbini: Fransız mühendis Benoit Fourneyron (1802 – 1867) (Şekil – 3.56) tarafından tasarlan-mış olup yüksek basınçlı su ile çalışan bir türbindir. (Şekil – 3.57 ve 3.58).

Şekil – 3.56: Benoit Fourneyron. (1802 – 1867).

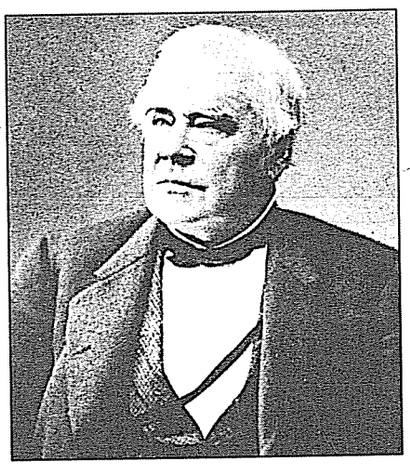


Şekil – 3.57: Fourneyron türbininin kesiti ve döner diski.

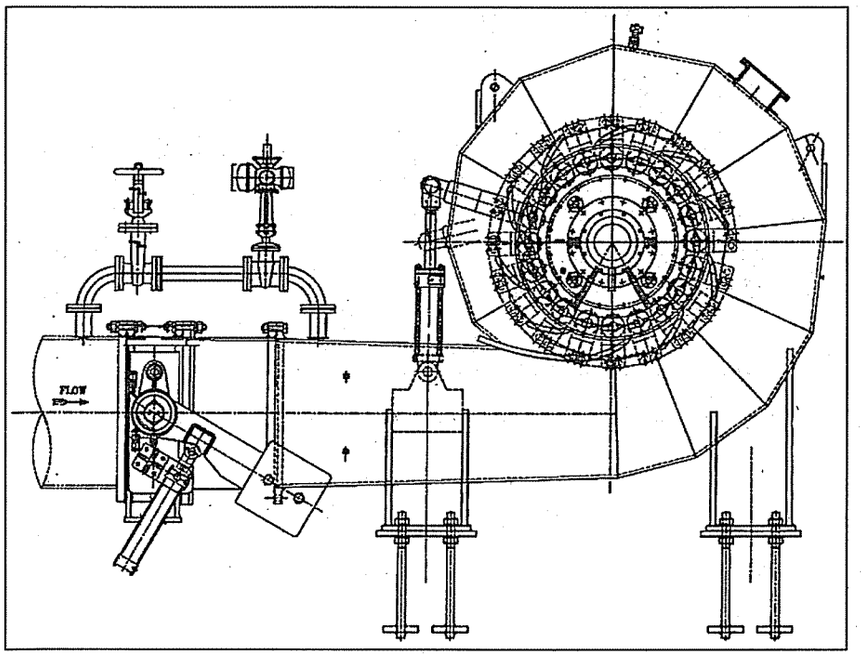


Şekil – 3.58: Fourneyron türbini. Türbinde eş merkezli yatay iki disk vardır. İçteki disk sabit olup (stator) basınçlı su bunun merkezinden eğimli kanatlar yardımıyla dıştaki diskin (rotor) kanatları üzerine gelir ve onu ters yönde çevirir. [Cossons, s. 54].

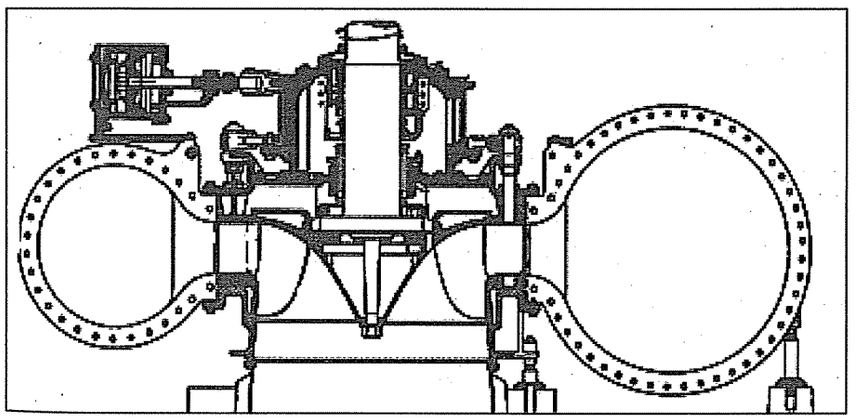
Francis türbini: İngiliz asıllı Amerikalı mühendis James Bicheno Francis (1815 – 1892) (Şekil – 3.59) tarafından 1848'de ortaya konulmuştur. Francis türbini yüksek verimi nedeniyle günümüzde en yaygın olarak kullanılan su türbinidir. (Şekil – 3.60, 3.61 ve 3.62).



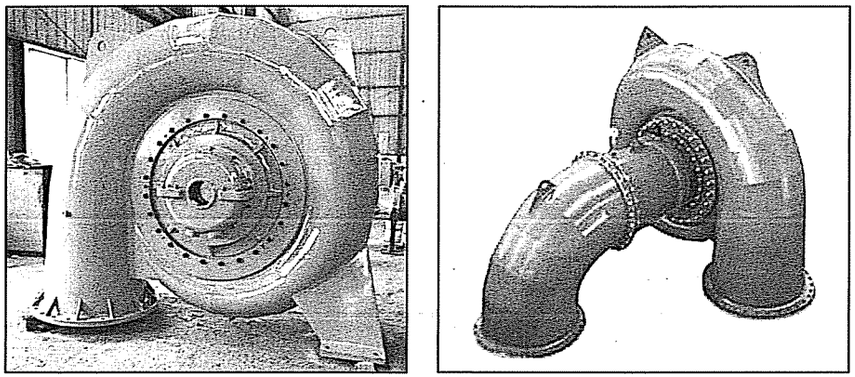
Şekil – 3.59: James Bicheno Francis. (1815 – 1892).



Şekil – 3.60: Dikey konumdaki bir Francis türbininin kesiti. Francis türbini bir reaksiyon türbinidir. Basınçlı su türbine sarmal bir yoldan girer ve kılavuz kanatlar suyu türbin çarkına teğetsel olarak yönlendirir. Su çarkı çevirdikten sonra düşük basınçlı olarak çıkar.

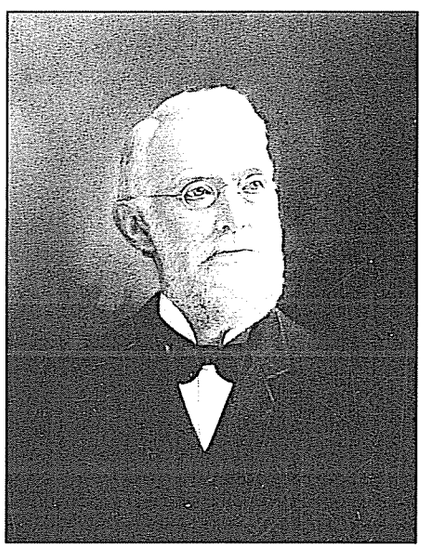


Şekil – 3.61: Yatay konumdaki bir Francis türbininin kesiti.

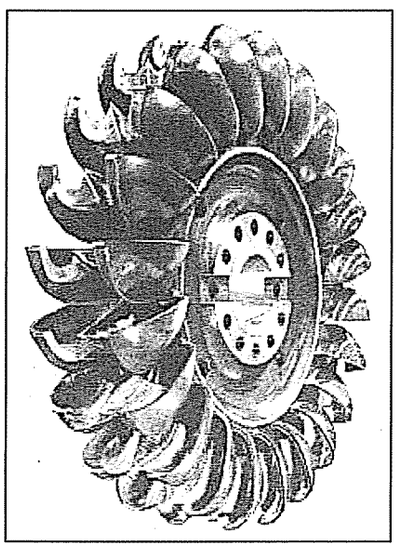


Şekil – 3.62: Bir Francis türbininin yandan görünümü (solda) ve su çıkış borusu ile birlikte görünümü (sağda).

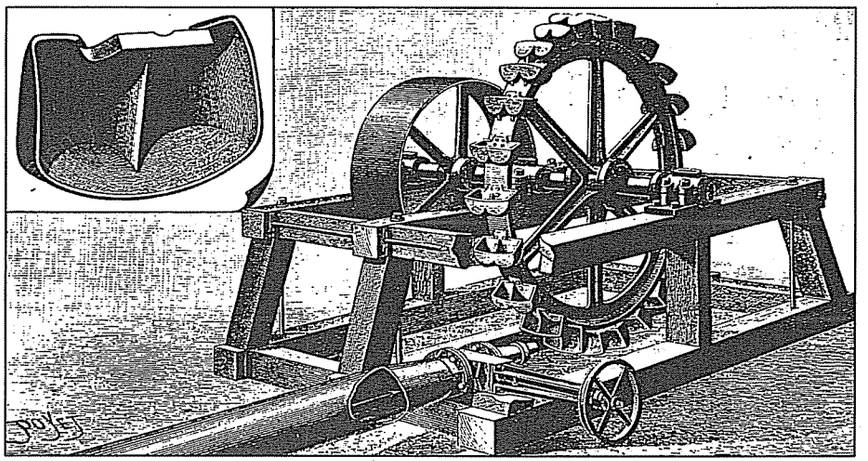
Pelton türbini: Amerikalı mühendis Lester Allan Pelton (1829 – 1908) (Şekil – 3.63) tarafından 1893'de yapılmıştır. Türbinin yapısı basit olup bir muhafaza içinde bulunan ve üzerinde kepçeler olan diske (rotor) teğet olarak basınçlı su gönderilir. (Şekil – 3.64, 3.65 ve 3.66).



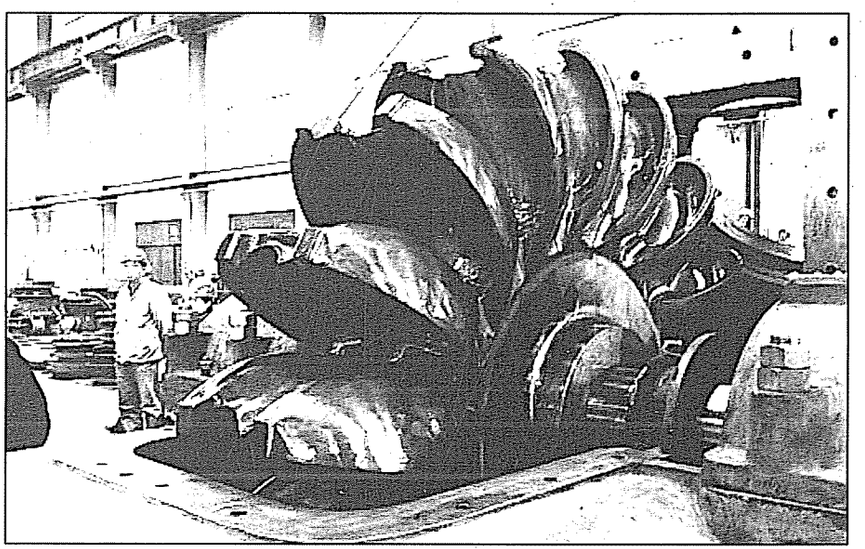
Şekil – 3.63: Lester Allan Pelton. (1829 – 1908).



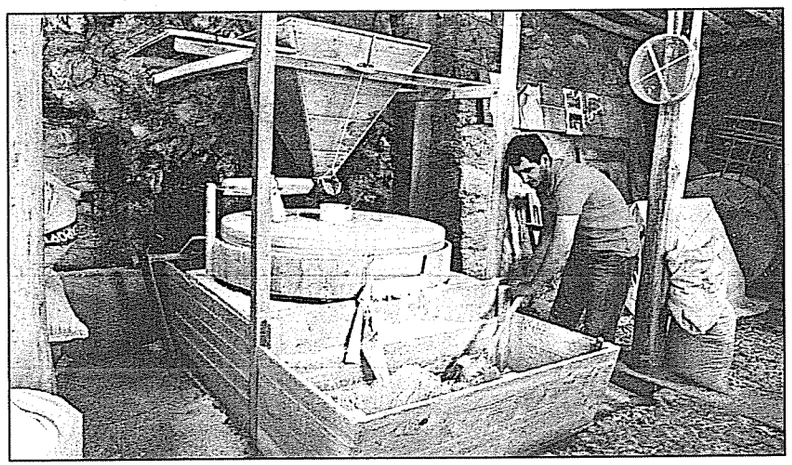
Şekil – 3.64: Pelton türbininin rotoru.



Şekil – 3.65: Bir Pelton türbininin temel yapısı.



Şekil – 3.66: Kapağı açılmış dev bir Pelton türbininin görünümü.



Erzincan'da (Kemaliye/Eğin) bir değirmenin restore edilerek yenilenmiş hali. [Bir, Acar ve Kaçar, s. 64]

BÖLÜM – 4

YEL DEĞİRMENLERİ

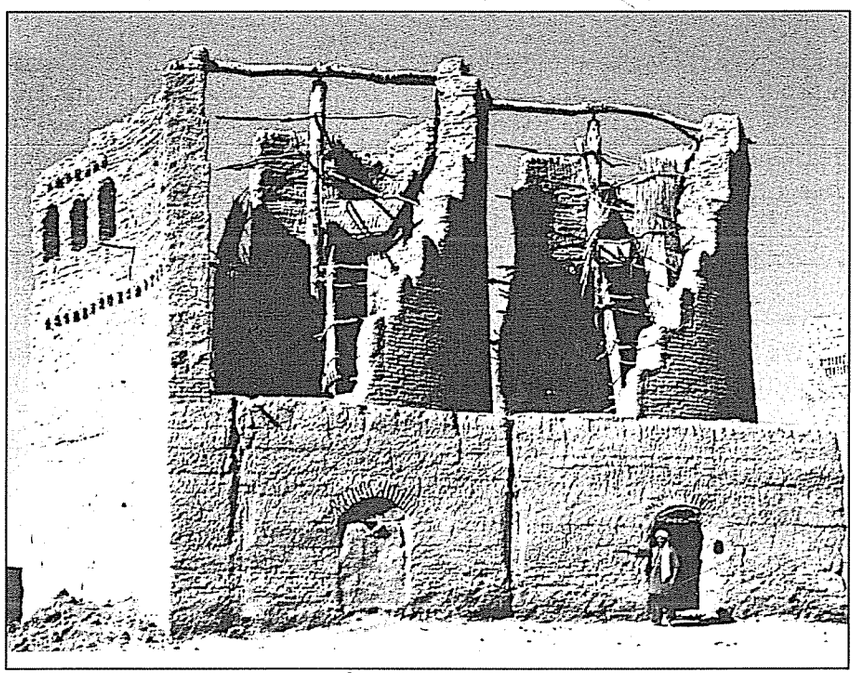
YEL DEĞİRMENLERİ

Yel değirmenlerinin ne zaman ortaya çıktığı tam olarak saptanamamakla birlikte geçmişi oldukça eskiye dayanır. Bunların su değirmenleri ile aynı güçte olmalarına rağmen gelişmeleri gecikmiştir. Yel değirmenlerinde ortaya çıkan en önemli sorun her yerde sürekli olarak esen rüzgârların bulunmamasıdır ve rüzgâr durunca veya hızı belirli bir düzeyin altına düşünce değirmen de durur. Bu nedenle yel değirmeninin kurulacağı yerin seçimi büyük önem taşır. Yapısal olarak rüzgârın çevirdiği ana milinin konumuna göre iki farklı tür yel değirmeni vardır. Daha eski olan ve Çin'den çıkarak batıya doğru yayılan düşey milli değirmenlerin yapısı çok basit olup değirmen taşı doğrudan doğruya üzerinde kanatları olan ve dönen düşey milin ucuna bağlıdır. Avrupa'da ortaya çıkan ve kanatların çevirdiği milin yatay konumda olduğu değirmenlerin yapısı daha karmaşıktır.

DÜŞEY MİLLİ YEL DEĞİRMENLERİ

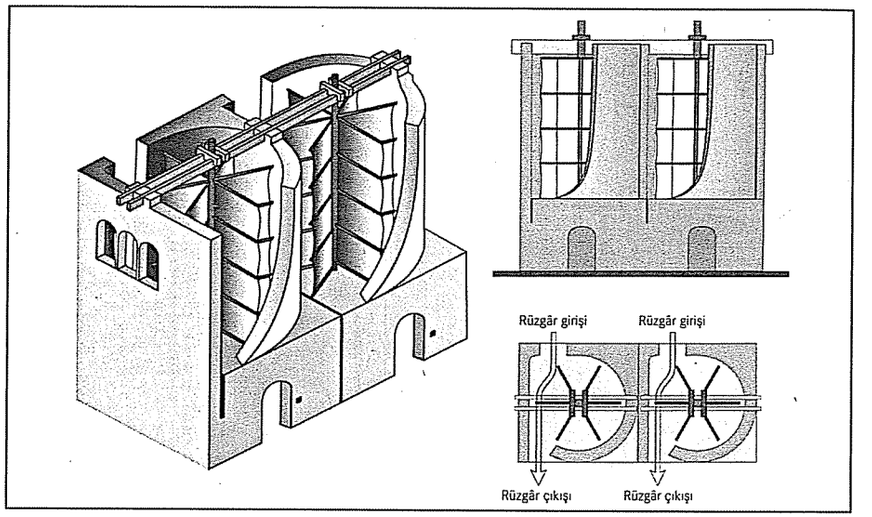
İran ve Afganistan'da VII. yüzyıldan itibaren dikey eksenli yel değirmenleri ortaya çıkmıştır. Düşey mill yel değirmenleri Çin'de bulunmuş ve batıya doğru yayılarak İslâm dünyasında ilk kez İranl'da kullanılmıştır. Daha sonra Kuzey Afrika ve Sicilya'ya da yayılmıştır. Bu tür değirmenlerde rüzgârın döndürdüğü kanatlar dikey bir mil üzerine yerleş-tirilmiş olup değirmen taşı da bu mile bağlı olarak döner. Rüzgârın kanatlar üzerine yönlendirilmesi için kanatları içeren eksen bir yönlendirme duvarının içine yerleştirilmiştir. Bu değirmenlerde dönüş hızı rüzgârın hızına bağlı olduğundan çok hızlı dönmeyi yavaşlatmak ve hızı düzenlemek önemli bir sorundur. (Şekil – 4.1 — 4.9).

Düşey milli yel değirmenlerinden ilk kez El-Mes'ûdî'nin (ölm. 957) ansiklopedik eserinde sadece günümüzdeki Afganistan'ın batısında bulunan Sicistan veya Silistan bölgesinde inşa edilmiş dikey eksenli yel değirmenlerinden söz edilmektedir. Bu tür değirmenlerin tam bir tanımı Suriyeli coğrafyacı El-Dımışkî'nin 1271'de yazdığı kitabında verilmiştir. Burada dikey milin kumaş yelkenlerin takılması için altı veya on iki kolu bulunduğunu, alt bölme duvarlarının baca biçiminde bir kanalla delinmiş olduğunu bu bacanın dar ucunun rüzgâr kanatlara doğru estiği zaman rüzgârın hızını arttırmak için iç kısma doğru uzandığını belirtmiştir. Bu tür yel değirmenleri Kuzey Afrika'da zeytinleri ezmek veya şeker kamışının suyunu çıkartmak için de kullanılmıştır.[1]

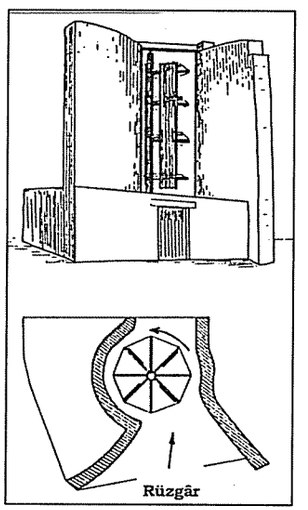


Şekil – 4.1: İran'ın kuzeydoğusundaki Horasan'da bulunan dikey milli yel değirmeni kalıntıları. [Nasr, s. 232].

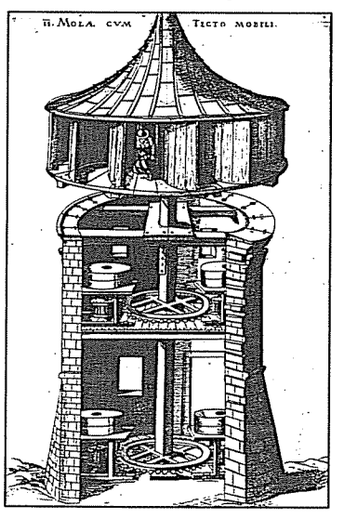
1 Zeki Tez, *Bilim ve Teknikte Ortaçağ Müslümanları*, Ankara 2001, s. 235 – 236.



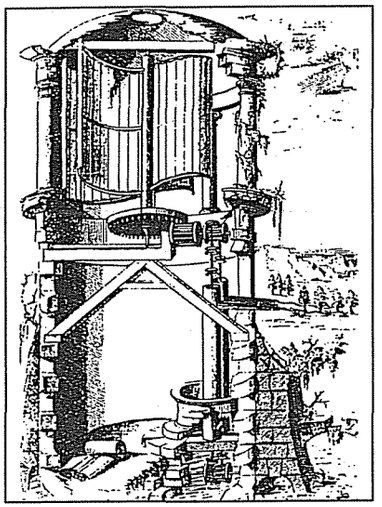
Şekil – 4.2: Asya tipi dikey milli yel değirmenlerinin perspektif, yandan ve üstten görünümleri. [Bir, Acar ve Kaçar, s. 71].



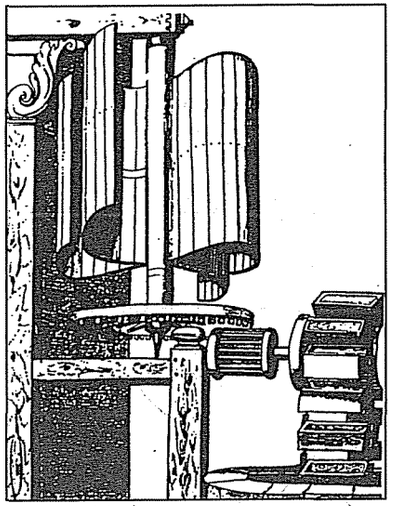
Şekil – 4.3: İran tipi düşey milli yel değirmeni. Rüzgârın etkin bir hava akımı yaratmasını sağlamak için kerpiçten yönlendirme duvarları yapılmıştır. Değirmen taşları alttaki küçük odadadır. [Pacey, s. 12]



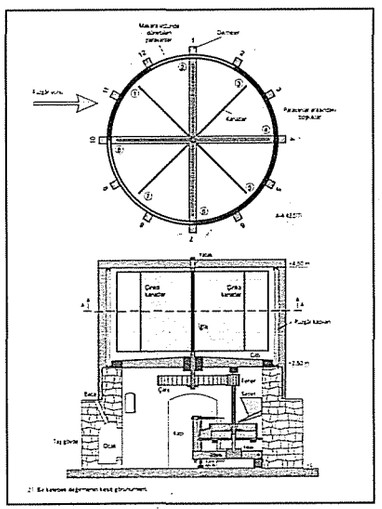
Şekil – 4.4: Tepesindeki kulenin rüzgâr çarkı olarak bütünüyle döndüğü düşey milli kelebek tipi yel değirmeni. [Veranzio Fausto'nun *Machinae Novae* (Venedik, 1615) adlı kitabından; Hills, s. 61].



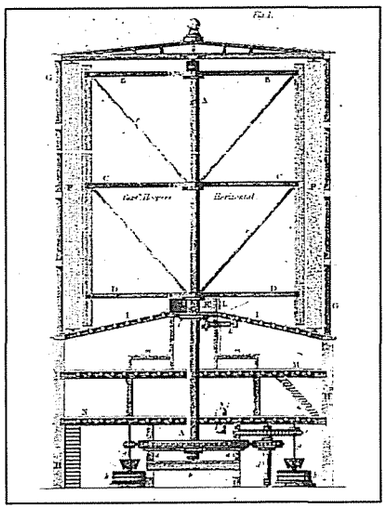
Şekil – 4.5: Bir düşey milli yel değirmeninin Avrupa'da basılmış en eski resmi. (Besson, 1578). Değirmen bir zincirli pompayı çalıştırmaktadır. [Hills, s. 16].



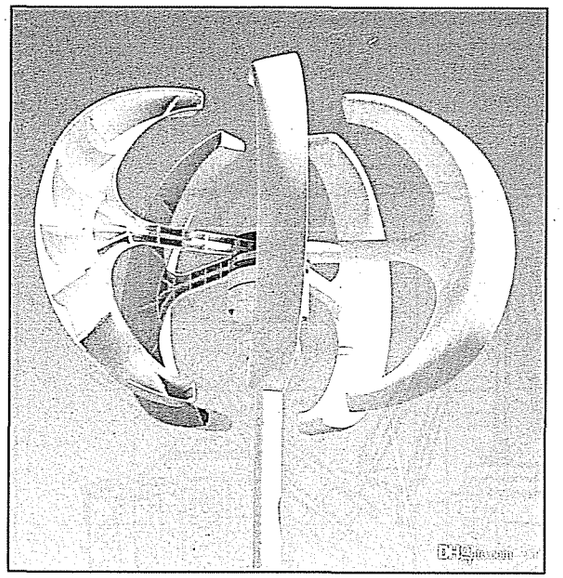
Şekil – 4.6: Bir düşey milli yel değirmeninin İngiltere'de basılmış en eski resmi. (W. Blith, 1652). Değirmen bir zincirli pompayı çalıştırmaktadır. [Hills, s, 17].

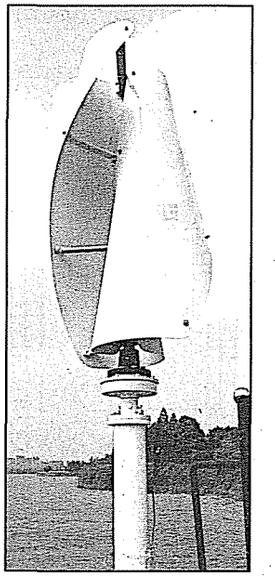


Şekil – 4.7: Düşey milli kelebek tipi bir yel değirmeninin kesiti. [Bir, Acar ve Kaçar, s. 89].



Şekil – 4.8: Stephan Hooper'ın tasarımı olan düşey milli yel değirmeninini kesiti. (1819). [Hills s. 19].

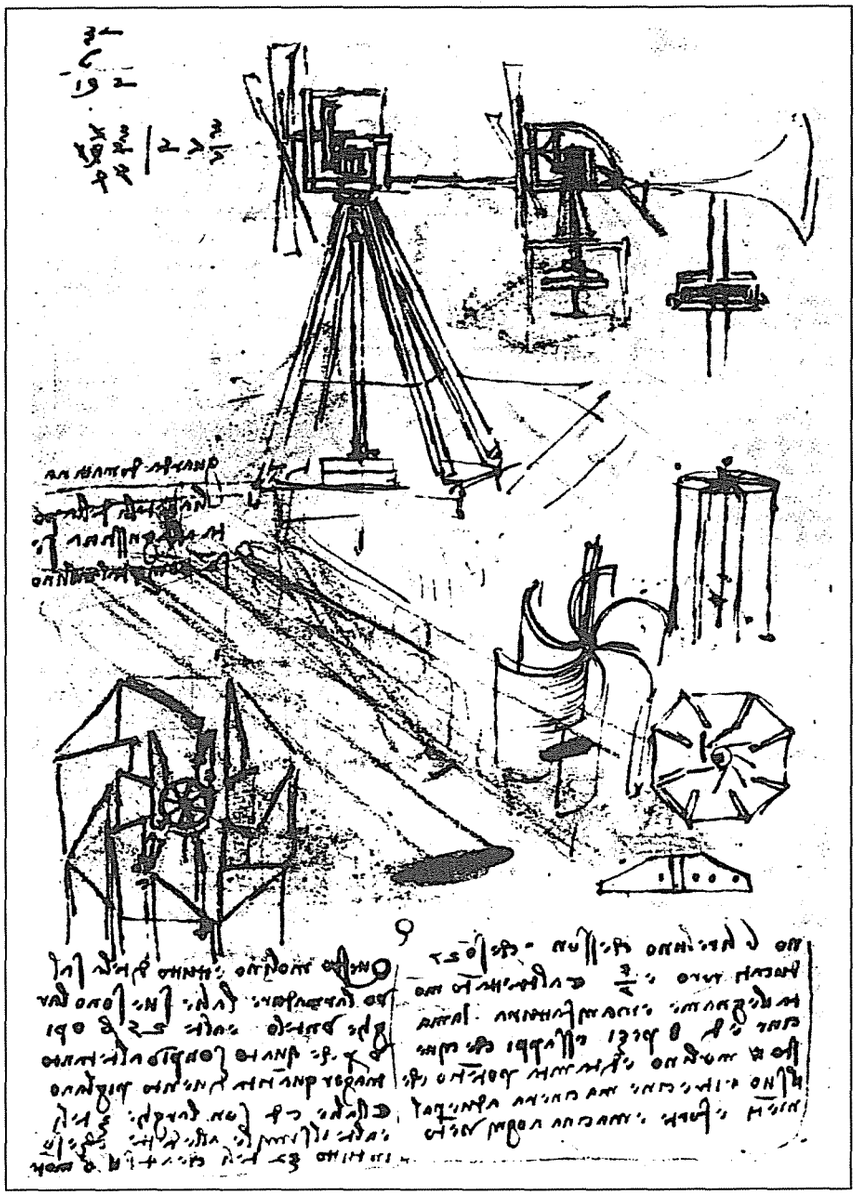




Şekil – 4.9: Günümüzde küçük çapta elektrik üretmek için kullanılan düşey milli yel değirmeni örnekleri.

YATAY MİLLİ YEL DEĞİRMENLERİ

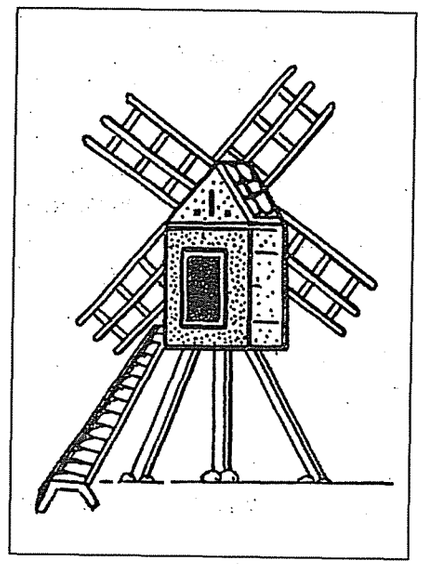
Yatay milli yel değirmenlerinde su değirmenlerinden farklı olarak iki önemli sorun ortaya çıkar. Bu sorunlardan birincisi rüzgârın yön değiştirmesi ve ikincisi de rüzgârın hızının ve buna bağlı olarak değirmen taşının hızının da değişmesidir. Değirmenin kanatları (yelkenleri) daima rüzgâra karşı konumda olmak zorunda olduğundan rüzgârın esiş yönü değişince değirmenin tümünün veya kanatları üzerinde taşıyan tepe bölümünün bir eksen çevresinde rüzgâra karşı döndürülmesini sağlayacak bir mekanizmanın geliştirilmesi gerekmiştir. (Şekil – 4.10). En eski ve küçük yeldeğirmenleri toprağa çakılı bir eksen çevresinde bütün olarak döndürülebilecek biçimde tasarlanmıştır. Daha sonraları değirmenin sadece tepe bölümünün rüzgâr yönüne göre çevrildiği sisteme geçilmiş ve giderek bunu kendiliğinden gerçekleştiren sistemler de ortaya çıkmıştır. Bu sorunların hiç biri su değirmenlerinde yoktur.



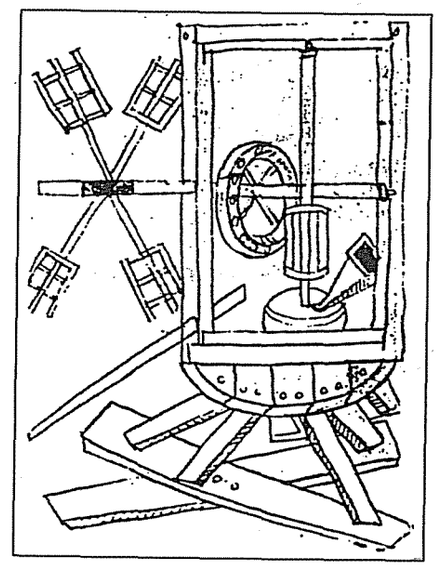
Şekil – 4.10: Leonardo da Vinci'nin dikey ve yatay milli yel değirmeni tasarımları. (1495). [Eckoldt, s. 30].

Rüzgâra göre bütünüyle döndürülen değirmenler

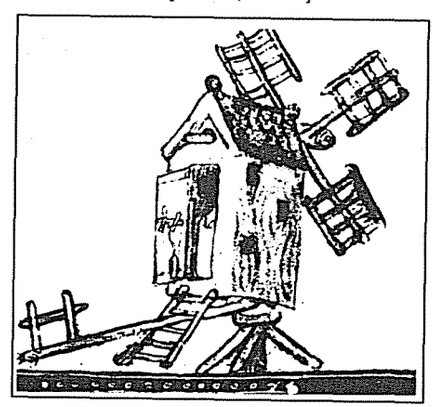
Daha eski olan bu tür yel değirmenleri ahşaptan yapılmış olup döner bir eksenin üzerine yerleştirilmişlerdir. Rüzgârın yönü değiştiğinde değirmen tümüyle kanatlar rüzgâra karşı gelecek biçimde eksen çevresinde döndürülür. (Şekil – 4.11 – 4.17).



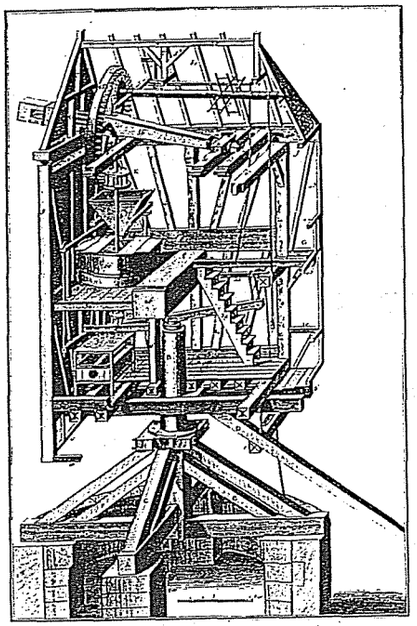
Şekil – 4.11: *The Windmill Psalter* adıyla bilinen 1270 tarihli bir elyazmasında bulunan bilinen en eski yel değirmeni resimlerinden biri. [Finch, s. 99].



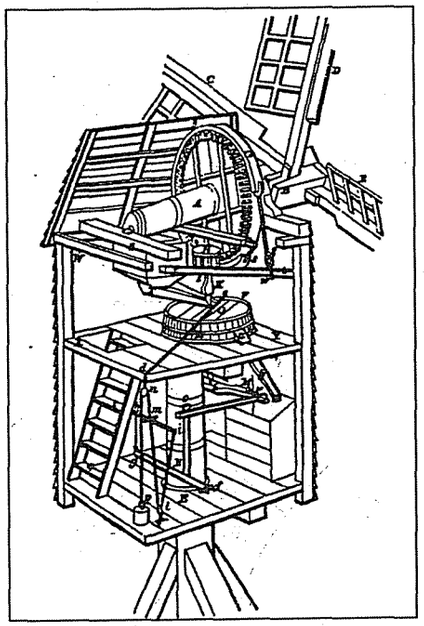
Şekil – 4.12: Rüzgâr yönüne doğru döndürülebilen yel değirmeni. (1430). Solda bütün sistemi döndürmeyi sağlayan kol görülmektedir. [Klemm, s. 54].



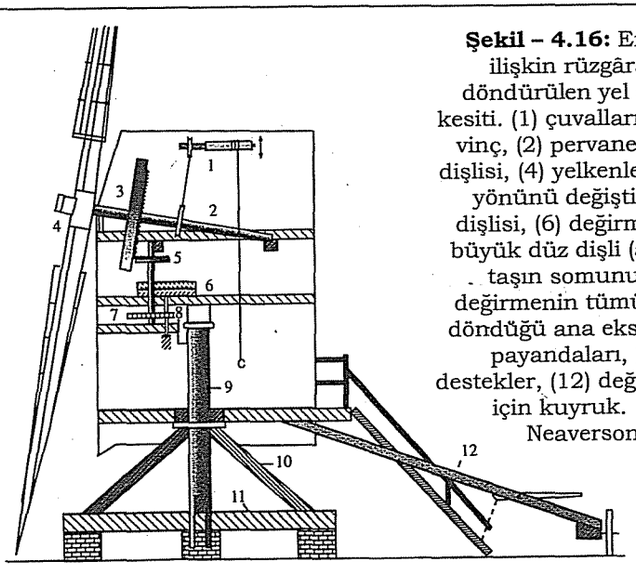
Şekil – 4.13: XIV. yüzyıla ilişkin bir yel değirmeni resmi. Bütün sistemi döndürmeyi sağlayan kol solda görülmektedir.



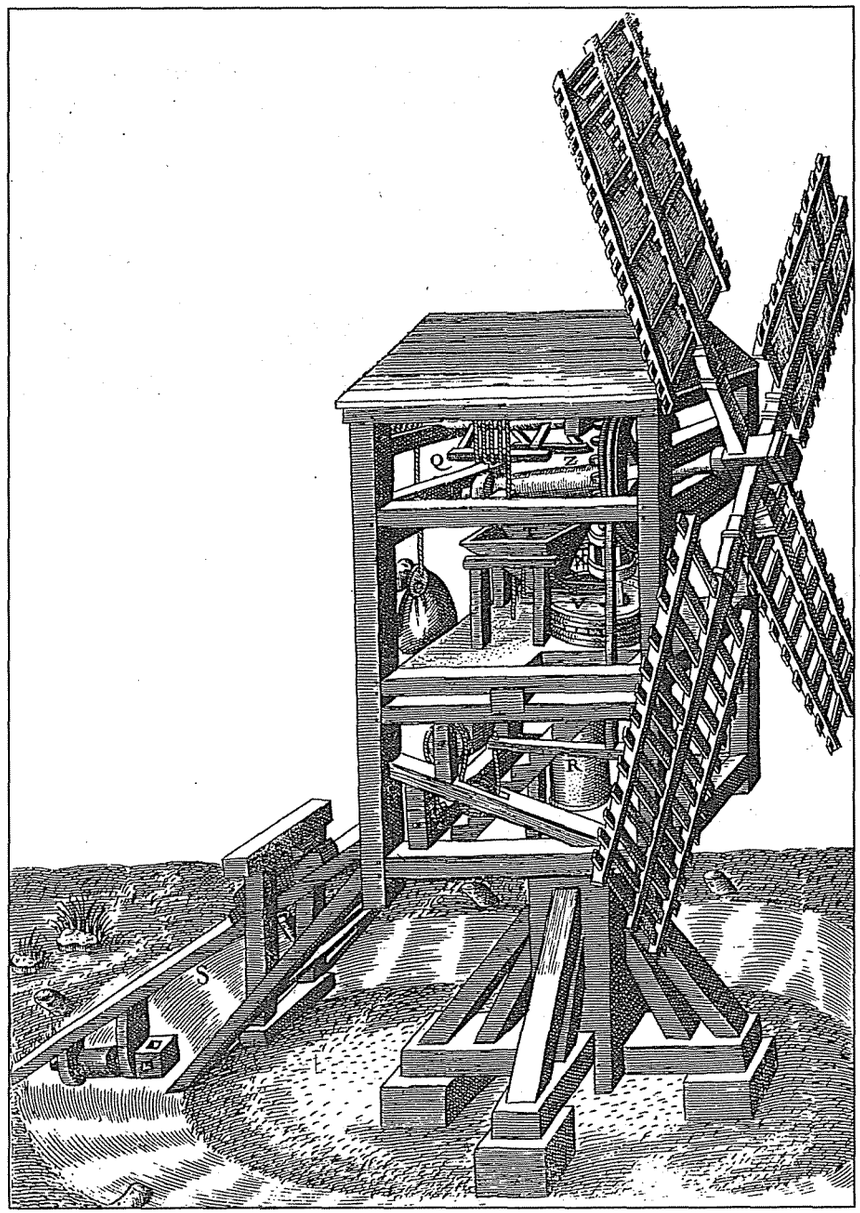
Şekil – 4.14: XVIII. yüzyıla ilişkin ekseni çevresinde dönen bir yel değirmeni. [Diderot, I, Levha 17].



Şekil – 4.15: XVIII. yüzyıla ilişkin ekseni çevresinde dönen bir yel değirmeni. [Usher, s. 175].



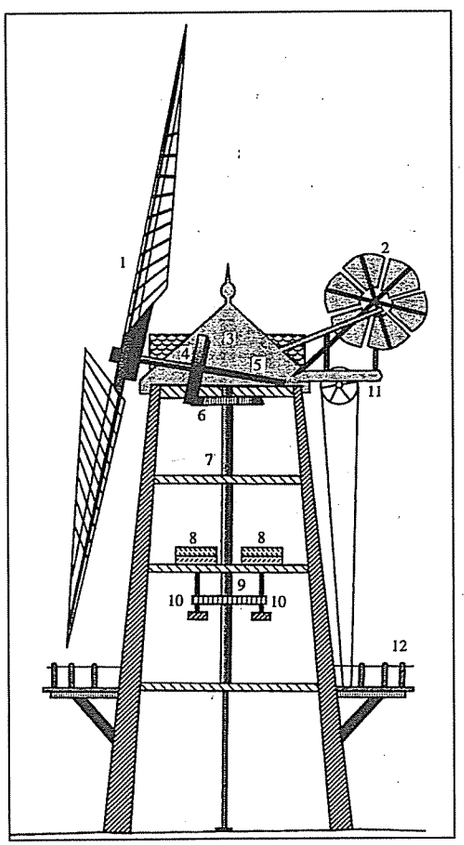
Şekil – 4.16: Erken döneme ilişkin rüzgâra karşı elle döndürülen yel değirmeninin kesiti. (1) çuvalları kaldırmak için vinç, (2) pervane şaftı, (3) çark dişlisi, (4) yelkenler, (5) hareketin yönünü değiştiren aktarma dişlisi, (6) değirmen taşları, (7) büyük düz dişli (alın dişlisi), (8) taşın somunu (balta), (9) değirmenin tümünün üzerinde döndüğü ana eksen, (10) destek payandaları, (11) çapraz destekler, (12) değirmeni çevirmek için kuyruk. [Palmer ve Neaverson, s. 57].



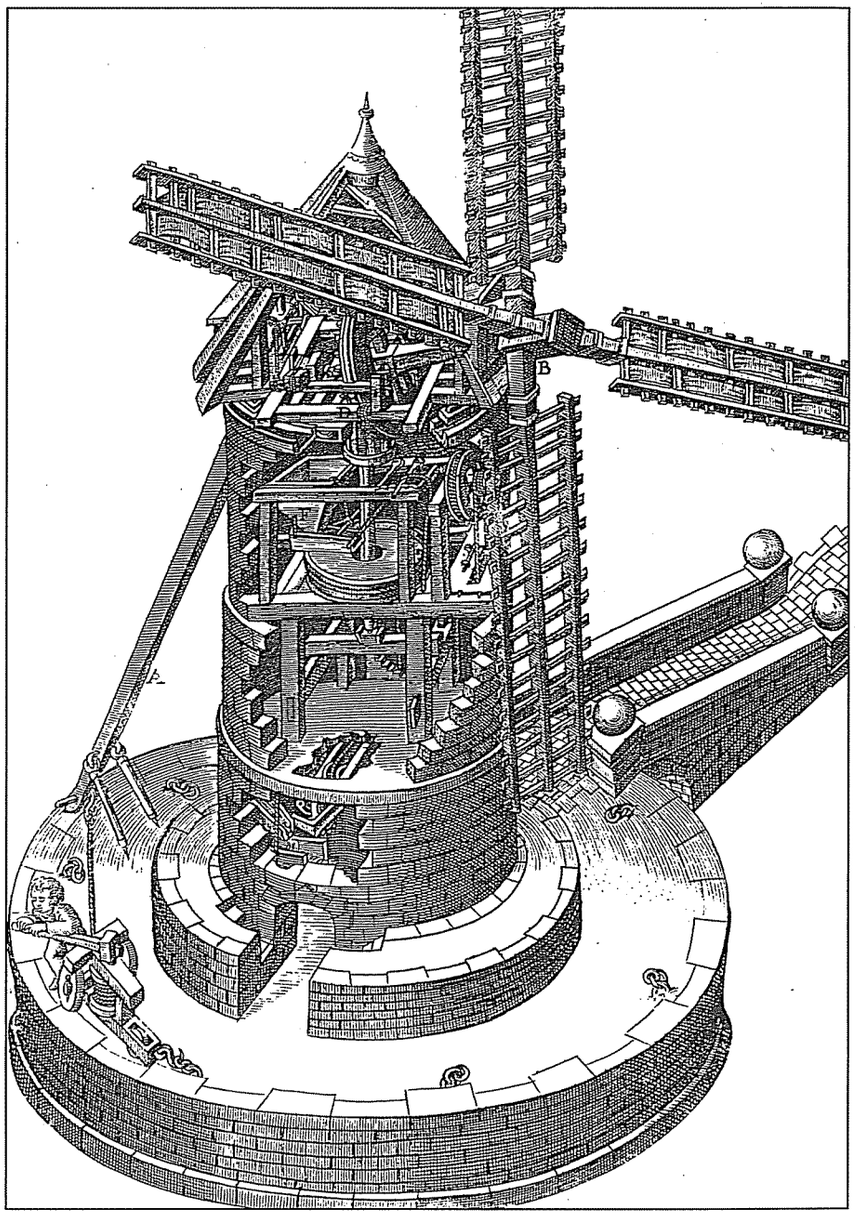
Şekil – 4.17: Bir eksen çevresinde rüzgâr yönüne göre çevrilebilen ve un öğüten bir yel değirmeni. (1588). [Ramelli, s. 335/Levha 133].

Rüzgâra göre tepesi döndürülen değirmenler

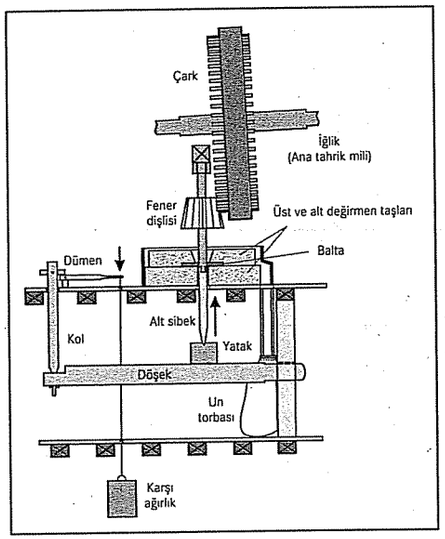
Yel değirmenlerinin gelişmesinin ikinci basamağında değirmenin tümünün rüzgâra göre çevrilmesi yerine pervanenin bağlı olduğu tepedeki külâhın (taret) çevrilmesi yoluna gidilmiştir. Bu gelişme sonucunda değirmenler büyümüş, ahşap değirmen binaları yerine daha büyük ve taş veya tuğladan kule biçiminde binalar yapılmıştır. Bir yel değirmeninin kesiti ve yapısı (Şekil – 4.18, 4.19, 4.20 ve 4.21)'de, Akdeniz tipi yel değirmenleri (Şekil – 4.22 ve 4.23)'de, değişik amaçlarla kullanılan yel değirmenleri (Şekil – 4.24, 4.25 ve 4.26)'da, çeşitli yel değirmenleri (Şekil – 4.27, 4.28, 4.29 ve 4.30)'da ve yel değirmeni ile kereste biçilmesi (Şekil – 4.31 ve 4.32)'de verilmiştir.



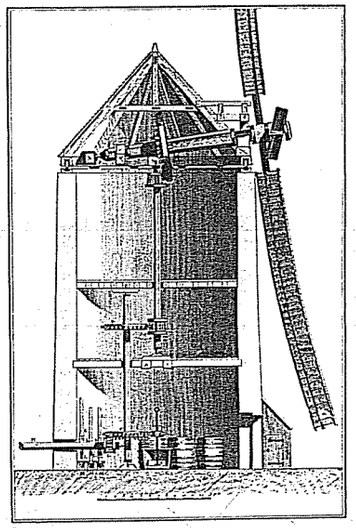
Şekil – 4.18: Geç döneme ilişkin kule tipi yel değirmeninin kesiti. Döner pervaneli bir kuyruk kulenin tepesini otomatik olarak rüzgâra karşı döndürür. (1) yelkenler, (2) pervaneli kuyruk, (3) külâh (kulenin döner tepesi), (4) çark dişlisi, (5) yatay mil, (6) konik dişli (fener dişlisi), (7) ana mil, (8) değirmen taşları, (9) büyük düz dişli (alın dişlisi), (10) taşların somunları (baltalar), (11) yelkenleri ayarlama mekanizması, (12) yelkenlere bakım için balkon. [Palmer ve Neaverson, s. 58]



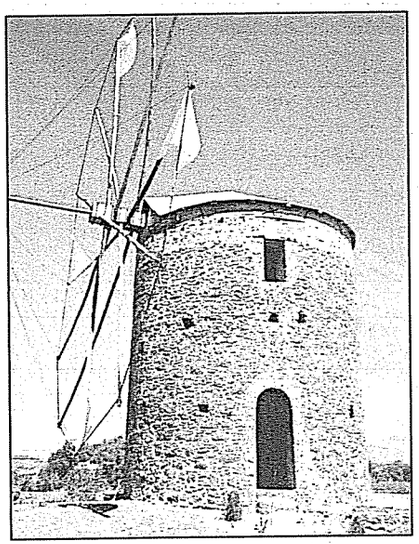
Şekil – 4.19: Tepesi rüzgâr yönüne göre çevrilebilen ve un öğüten bir yel değirmeni. (1588). [Ramelli, s. 332/Levha 132].



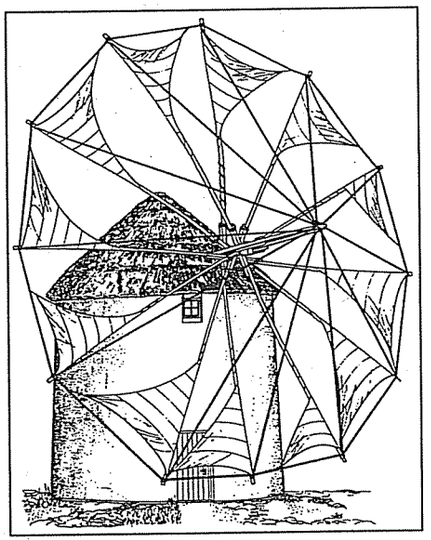
Şekil – 4.20: Bir yel değirmeninin çalışma sistemi ve yapısı. [Bir, Acar ve Kaçar, s.80].



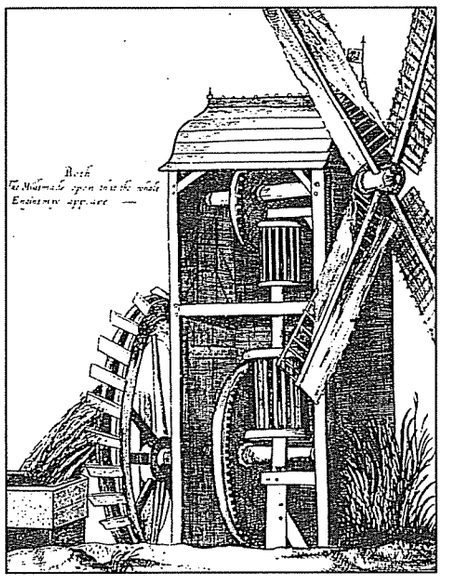
Şekil – 4.21: XVIII. yüzyılda kaldırım taşlarını kesmek için kullanılan bir yel değirmeni.



Şekil – 4.22: Türkiye'de Datça yakınlarında restore edilmiş bir yel değirmeni. [Bir, Acar ve Kaçar, s. 81].

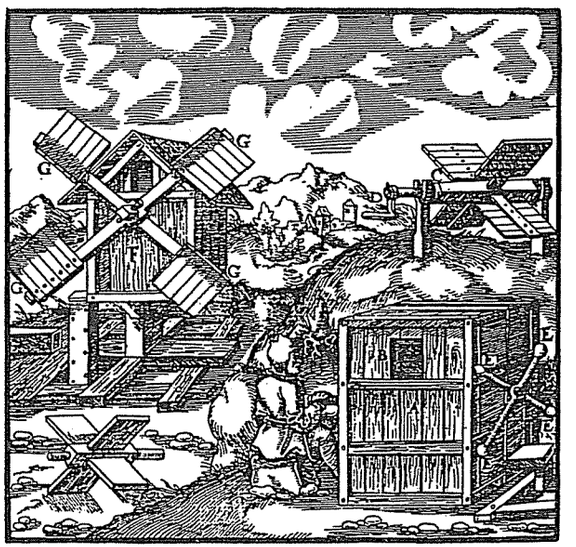


Şekil – 4.23: Hafif bir iskelet üzerinde kumaş yelkenleri olan tipik bir Akdeniz yel değirmeni. [Hills, s. 53].

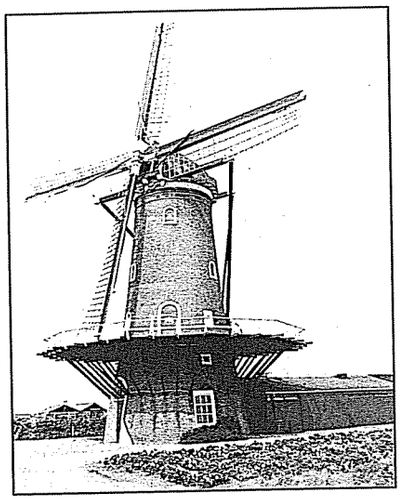


Şekil – 4.24: Drenaj için bir su dolabını çeviren yel değirmeni. (W. Blith, 1652). [Hills, s. 137].

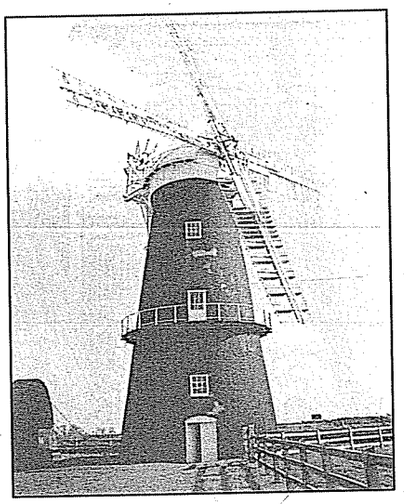
Şekil – 4.25: Zincirli pompa ile su çeken yel eğdirmeni.. (1588). [Ramelli, s. 207/Levha 73].



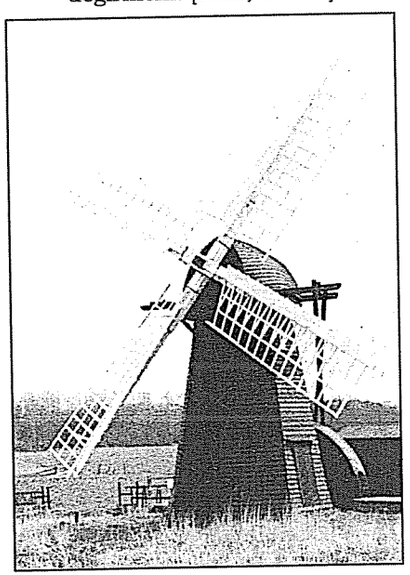
Şekil – 4.26: Madenlere hava veren fanları çalıştıran yel değirmeni. (1556). [Agricola, s. 205].



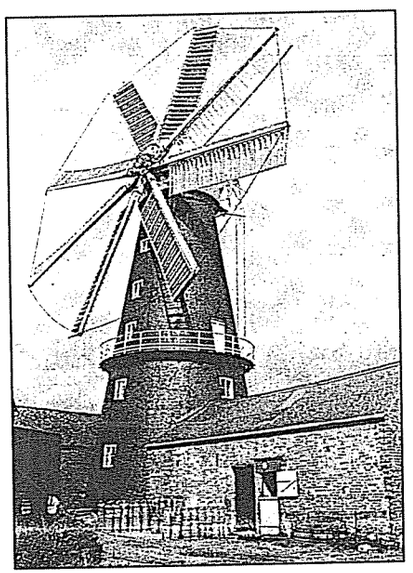
Şekil – 4.27: Hollanda'da Tholen Adası'nda Sint Maartensdijk'de 1868'de yapılmış bir yel değirmeni. [Hills, s. 220].



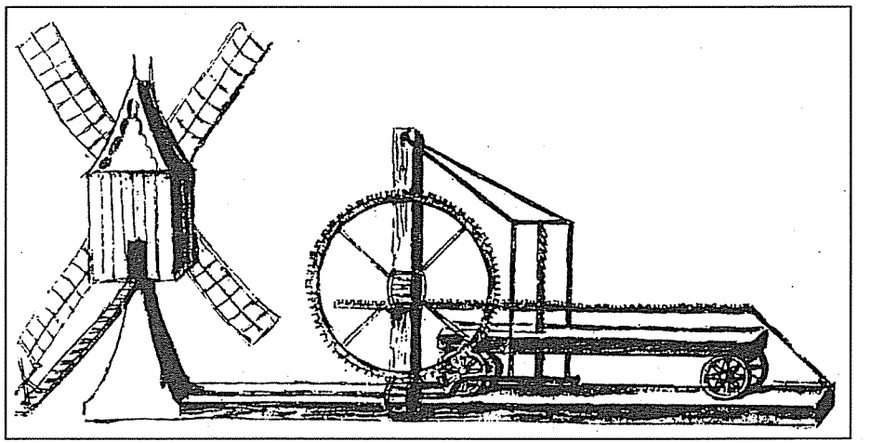
Şekil – 4.28: İngiltere'de Berney Arms'da klinker öğüten "High Mill" yel değirmeni. [Hills, s. 161]



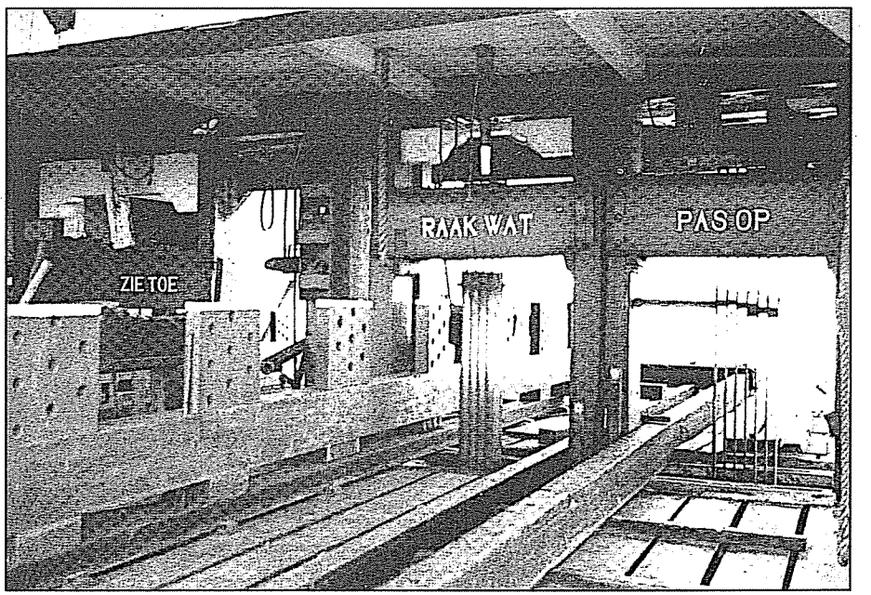
Şekil – 4.29: İngiltere'de Waweney bataklıklarının kurutulmasında su çekmek için yapılmış olan "Herringfleet Mill". [Hills, s. 158].



Şekil – 4.30: İngiltere'de Lincolnshire'deki Heckington'da sekiz kanatlı yel eğdirmeni. [Palmer ve Neaverson, s. 58].



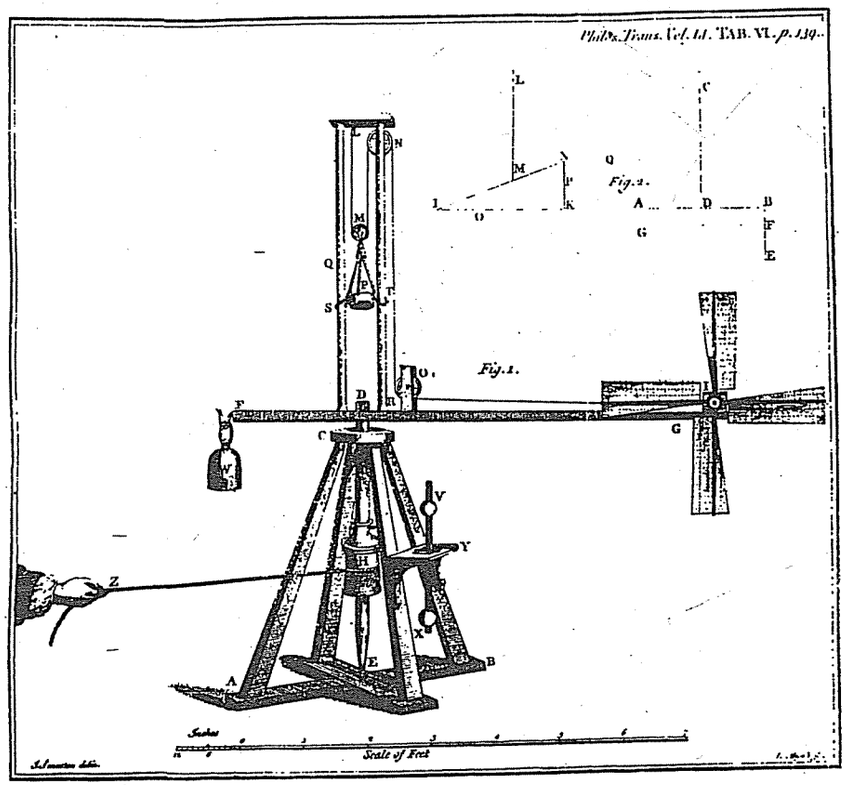
Şekil – 4.31: Hollandalı Cornelius Corneliszoon'un 1593'de aldığı ilk patentteki hizar tezgâhının çizimi. Kütüklerin elle biçilmesi yerine yel değirmeni ile çalışan otomatik hizar tezgâhının kullanılmaya başlanması gemi yapımını hızlandırarak XVII. yüzyılda Hollanda'nın önemli bir deniz gücü olmasını sağlamıştır. [Hills, s. 167].



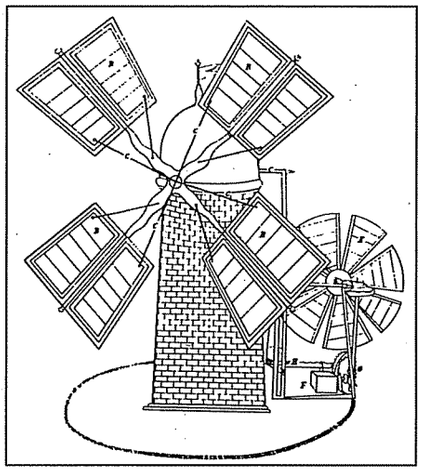
Şekil – 4.32: Hollanda'da Poelenburg'da 1990'lı yıllarda da çalışmasını sürdüren yel değirmeni ile işleyen üç tane hizar tezgâhı. [Hills, s. 169].

Yel değirmenlerinin yön ve hızının ayarlanması

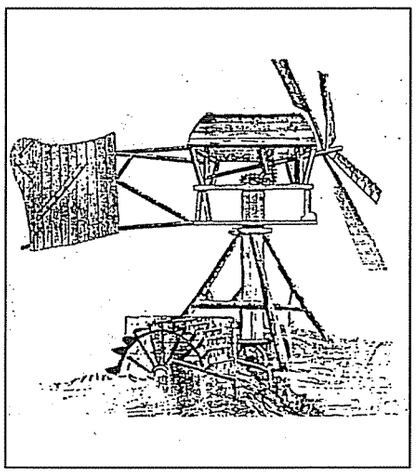
Yel değirmenlerinin birinci sorunu yelkenlerin daima rüzgâra karşı konumda olmasının sağlanmasıdır. Döndürme işi değirmenin tümünün veya tepesindeki külâhın elle çevrilmesiyle yapıldığı gibi bazı otomatik döndürme sistemleri de geliştirilmiştir. İkinci sorun rüzgârın hızının değişmesine bağlı olarak değirmenin hızının da değişmesidir. Bunu önleyebilmek için oldukça karmaşık hız düzenleme sistemleri geliştirilmiştir. (Şekil – 4.33 — 4.39).



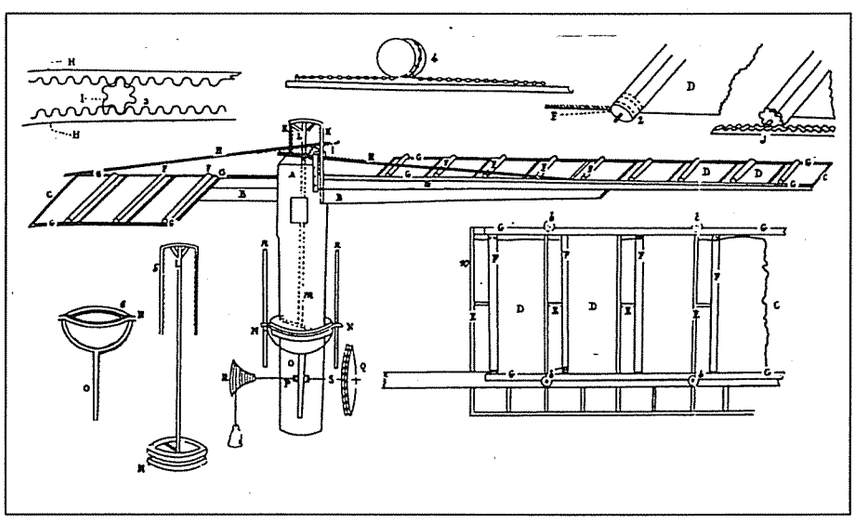
Şekil – 4.33: İngiliz mühendis John Smeaton'un (1724 – 1792) yel değirmenlerinin gücünü bulabılmak için geliştirdiği test aleti. (1759). Makaranın üzerindeki ip (V – X) sarkacı ile aynı zamanda elle çekildiğinde kuyruktaki pervane döner ve oluşan kuvveti dengelemek için (P) kabına ağırlık konularak buradan oluşan güç hesaplanır. [Hills, s. 89].



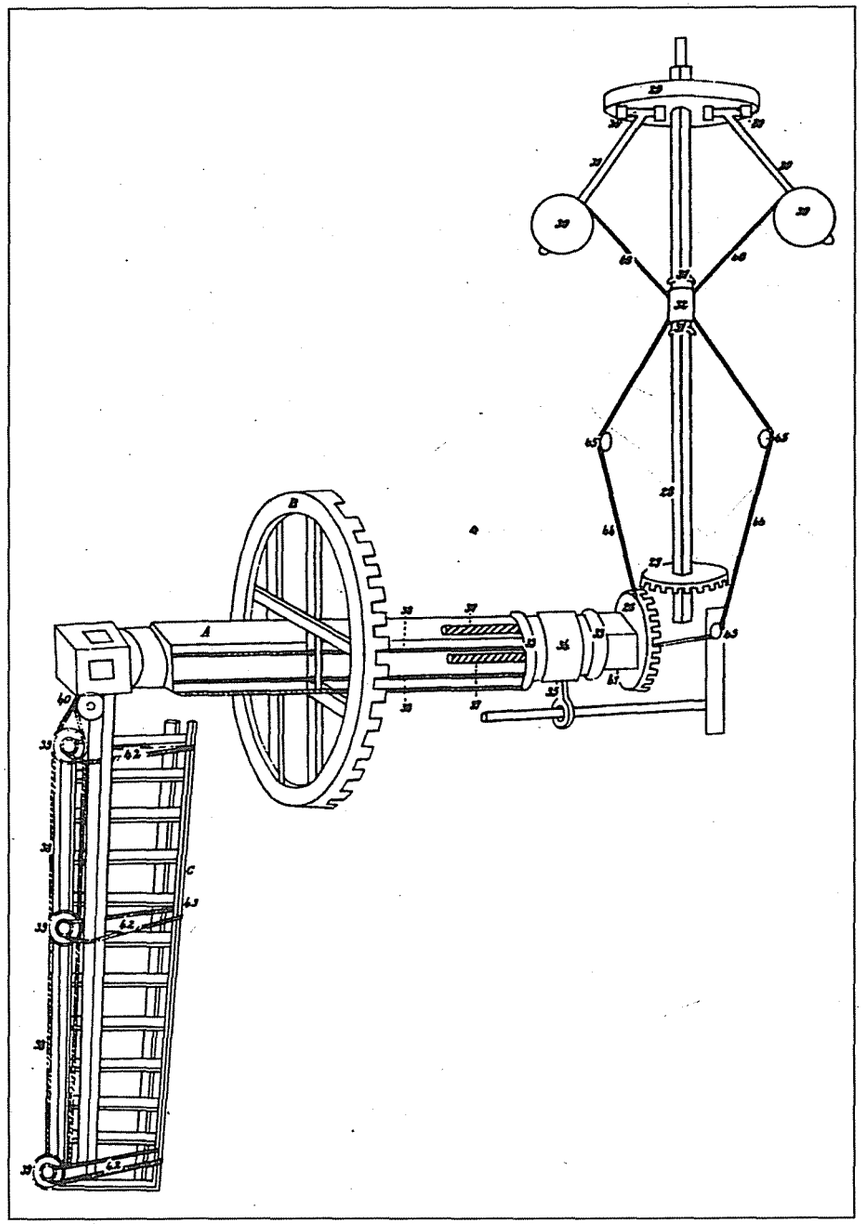
Şekil – 4.34: Edmund Lee'nin ikinci bir pervane yardımıyla yelkenleri otomatik olarak yönlendiren sistemine ilişkin aldığı patentteki çizim. (1745). [Hills, s. 93].



Şekil – 4.35: İngiltere'de Yorkshire yakınındaki Routh'da drenaj için kullanılmış ve arkasında yönlendirici kanat bulunan yel değirmeninin çizimi. (Arthur Young, 1770). [Hills, s. 132].

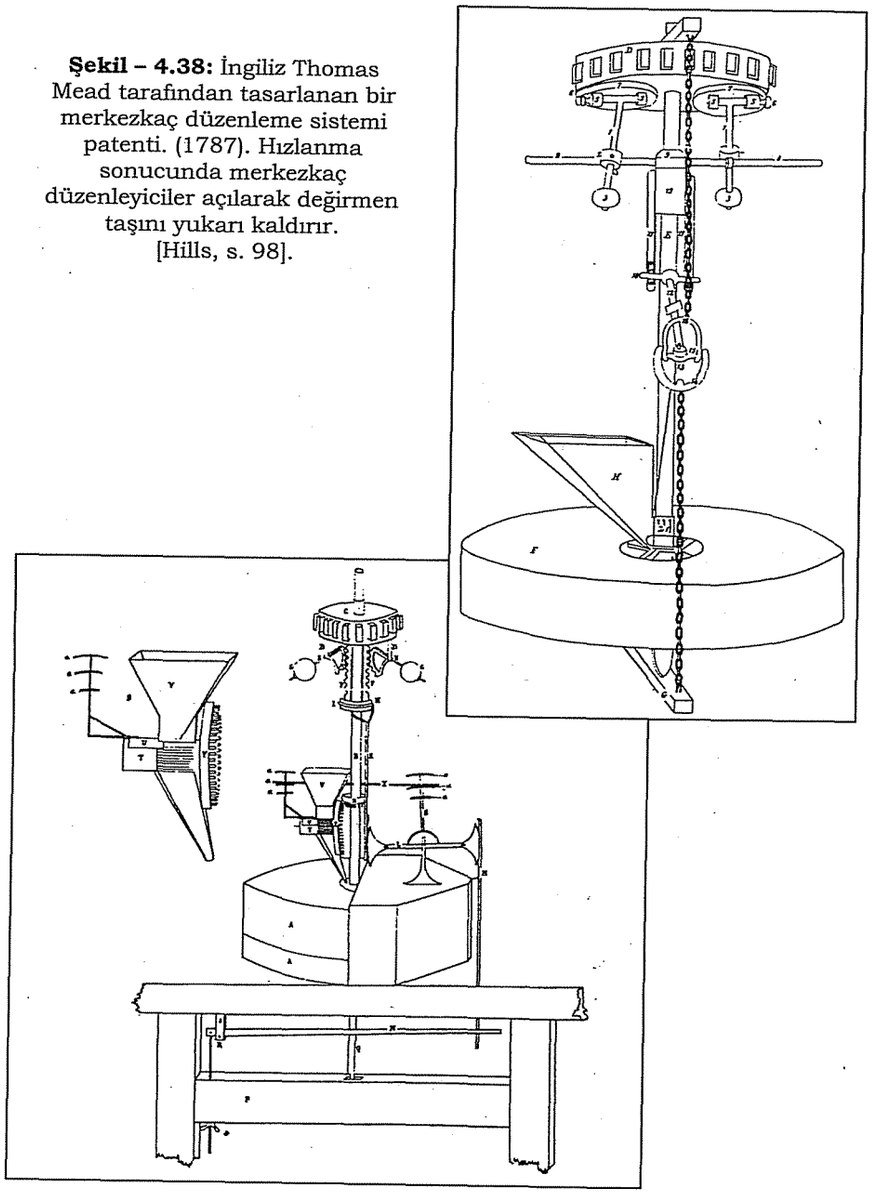


Şekil – 4.36: Yelken alanını küçülterek hızı düşürmeye yönelik olarak İngiliz Stephen Hooper'ın 1789'da aldığı patent. Yelkenlerin üzerindeki silindirler kumaşı sarıp bırakarak hızı ayarlamaktadır. [Hills, s. 105].



Şekil – 4.37: İngiliz Thomas Mead tarafından tasarlanan bir hız düzenleyici sistem. (1787). Bir merkezkaç düzenleyiciye bağlı karmaşık bir ip ve makara sistemi ile hızlanma durumunda yelkenler toplanır. [Hills, s. 103].

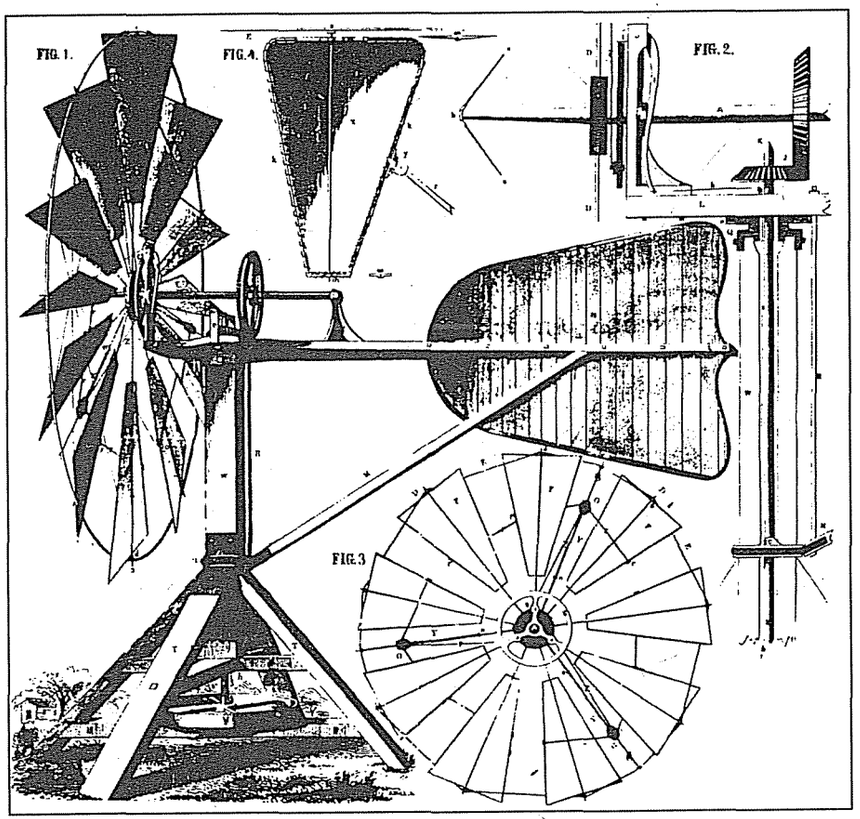
Şekil – 4.38: İngiliz Thomas Mead tarafından tasarlanan bir merkezkaç düzenleme sistemi patenti. (1787). Hızlanma sonucunda merkezkaç düzenleyiciler açılarak değirmen taşını yukarı kaldırır. [Hills, s. 98].



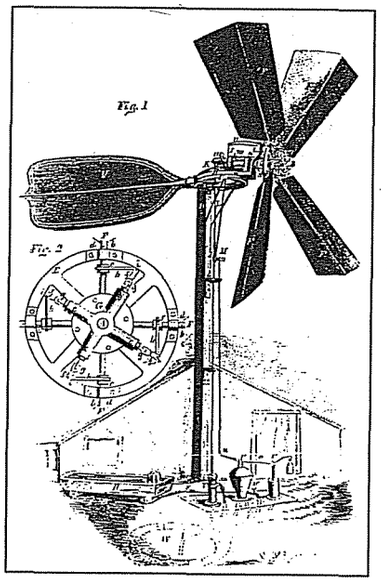
Şekil – 4.39: İngiliz Stephen Hooper tarafından tasarlanan ve daha kullanılışlı olan bir hız düzenleyici sistem. (1789). Hızlanma durumunda ağırlıkların merkezkaç etkisiyle dışı doğru hareketi ile değirmen taşı yukarı kalkmakta ve akan buğday miktarı da ayarlanmaktadır. [Hills, s. 100].

XIX. yüzyılda yel değirmenleri

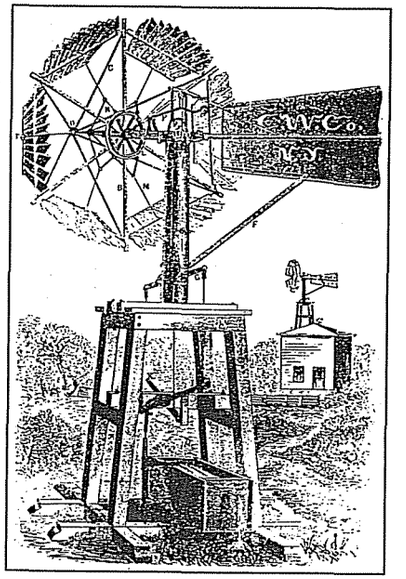
XIX. yüzyılın ortalarına gelindiğinde özellikle kuyulardan su çeken tulumbaları çalıştırmak amacıyla daha küçük boyutlarda ve metalden yapılmış yel değirmenleri kırsal bölgelerde yaygınlaşmıştır. (Şekil – 4.40 — 4.44). Bunlar daha sonra küçük elektrik jeneratörlerini çalıştırmak için de kullanılmaya başlanmıştır. Bunların gelişmesi sonucunda günümüzde büyük oranda elektrik üreten rüzgâr jeneratörleri ortaya çıkmıştır. (Şekil – 4.45).



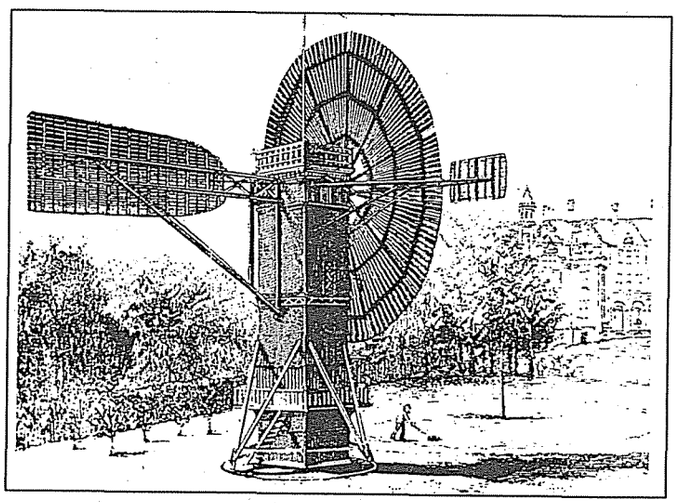
Şekil – 4.40: 1855'de patenti alınan yel değirmeni. Kendiliğinden rüzgâra karşı dönen ve kuyudan su çeken tulumbayı çalıştıran bu yeldeğirmeninin patenti 1855'de F. G. Johnson tarafından alınmıştır.



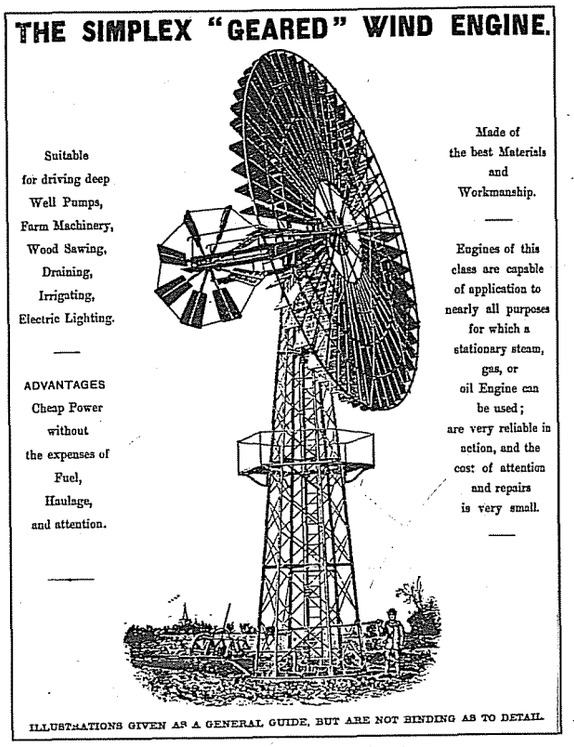
Şekil – 4.41: Su pompalama için Daniel Halladay'in standart yel değirmeninin prototipi. (1854). [Hills, s.241].



Şekil – 4.42: New York'daki Continental Wind Mill Company'nin 1860 – 1870'lerde ürettiği yel değirmeni. [Hills, s. 243].



Şekil – 4.43: C. F. Brush tarafından yapılan yel değirmeni. (Cleveland/Ohio, 1890). [Hills, s. 266].



Şekil – 4.44: Çeşitli amaçlarla kullanılabilen ve Amerikan pratiğinin İngiliz tasarımına yansıması olan bir yel değirmeninin İngiltere'de J. W. Tits'in 1905'deki kataloğundaki tanıtımı. [Hills, s. 262].

Şekil – 4.45: Günümüzde elektrik üreten rüzgâr jeneratörleri.

KAYNAKLAR

Acar, M. Şinasi, *Bentler ve Sinan'ın Su Yolları*, Biryıl Kültür Sanat Ltd., İstanbul 2010.

Agricola, Georgius, *De Re Metallica*, Translated from the first edition of 1556 by Herbert Clark Hoover ve Lou Henry Hoover, Dover Publications Inc., New York 1950.

Aksoy, Asu (Ed.), *Silahtarağa Elektrik Santralı: 1910 – 2004*, Genişletilmiş 2. baskı, İstanbul Bilgi Üniversitesi Yayınları, İstanbul 2009.

Al-Hassan, Ahmad Y. ve Donald R. Hill, *Islamic Technology – An Illustrated History*, Cambridge University Press, Cambridge 1992.

Altun, Ara, "XVI. yüzyılda Osmanlı çini ve seramikleri", *Osmanlı İmparatorluğu'nun Doruğu 16. Yüzyıl Teknolojisi*, Editör Kâzım Çeçen, İSKİ Yayınları, İstanbul 2000, s. 155 – 171.

Amman, Jost ve Hans Sachs, *The Book of Trades (Ständebuch/1568)*, Dover Publications Inc., New York 1973.

Aqua Romana – Técnica humana e força divina, Editör kurumlar Museo de les Aigües ve Fundaçâo Agbar, Barcelona 2004.

Aygen, Temuçin, "2000 yıllık bir mühendislik şaheseri Vespasiyanüs – Titüs barajı", *İlgi*, Yıl 19/Sayı 43 (Kasım 1985), s. 7 – 10.

Aygen, Temuçin, "2000 yıllık bir mühendislik harikası Laodikya kenti su yolu Denizli – Frikya"", *İlgi*, Yıl 21/Sayı 48 (Kasım 1987), s. 29 – 31.

Aytöre, Ayhan, "Türkler'de su mimarisi", *Milletlerarası Birinci Türk Sanatları Kongresi (Ankara; 19 -24 Ekim 1959) Kongreye Sunulan Tabligler*, Ankara Üniversitesi İlâhiyat Fakültesi Yayınları, Ankara 1962, s. 45 – 69 + Levha VI – XXIX.

Basalla, George, *Teknolojinin Evrimi*, Çeviren Cem Soydemir, TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları, Ankara 1996.

Belli, Oktay, *Doğu Anadolu'da Urartu Sulama Kanalları*, Arkeoloji ve Sanat Yayınalrı, İstanbul 1997.

Bernal, John Desmond, *Science in History*, 3rd ed., 4 cilt, Penguin Boks, Harmondsworth 1969.

Berr, Franz ve Willibald Pricha, *Atommodelle*, Deutsches Museum, München 1997.

Bildirici, Mehmet, "Klasik çağda su iletiminde basınçlı ve basınçsız borular", *Türkiye Mühendislik Haberleri*, Sayı 420 – 422, 105 – 109 (2002).

Bir, Atilla ve Mahmut Kayral, "Dikey milli türbin tipi su değirmenleri: Mahmut Şevket Paşa su değirmeni örneği", *Türk Teknoloji Tarihi – 1. Türk Bilim ve Teknoloji Tarihi (15 17 Kasım 2001) Kongresi Bildirileri*, Yayına hazırlayanlar Emre Dölen ve Mustafa Kaçar, Türk Bilim Tarihi Kurumu ve İSKİ Yayını, İstanbul 2003, s. 61 – 74.

Bir, Atilla, M. Şinası Acar ve Mustafa Kaçar, *Anadolu'nun Değirmenleri*, Yapı Endüstri Merkezi Yayınları, İstanbul 2012.

Biringuccio, Vannoccio, *The Pirotechnia of Vannoccio Biringuccio*, İngilizceye çevirenler Cyril Stanley Smith ve Martha Teach Gnudi, The American Institute of Mining and Metallurgical Engineers, New York 1942.

Bory, Paul, *Le Roi des Métaux*, Deuxième edition, Alfred Mame et Fils, Tours 1886.

Champlin, John Denison, "Prehistoric engineering at Lake Copais", *Popular Science Monthly*, 48 (12), (Aralık 1895).

Cossons, Neil, *The BP Book of Industrial Archaeology*, 3rd ed., David and Charles, Devon 1993.

Çeçen, Kâzım, "İstanbul'un suyu nereden geliyordu?", *Bilim*, 2 (5), 78 – 87 (Ocak 1994).

Çeçen, Kâzım, *Mimar Sinan ve Kırkçeşme Tesisleri*, İSKİ Yayınları, İstanbul 1988.

Çeçen, Kâzım, "XVI. yüzyılda Osmanlı İmparatorluğu'nda yapılan su tesisleri", *Osmanlı İmparatorluğu'nun Doruğu 16. Yüzyıl Teknolojisi*, Editör Kâzım Çeçen, İSKİ Yayınları, İstanbul 2000, s. 19 – 54.

Çeçen, Kâzım, "Osmanlı suyollarında künkler, debi ölçme tertibatı ve su terazileri", *Osmanlı İmparatorluğu'nun Doruğu 16. Yüzyıl Teknolojisi*, Editör Kâzım Çeçen, İSKİ Yayınları, İstanbul 2000, s. 55 – 71.

Çelik, Köksal Buğra, "Türkiye'de su iletiminde kullanılan borulu sistemlerin tarihsel gelişimi", *DSİ Teknik Bülteni*, Sayı 103, 23 – 30 (Ocak 2008).

Çelik, Köksal Buğra, "Su iletiminde kullanılan borulu sistemlerin tarihsel gelişimi", https//docplayer.biz.tr/ 10570439 [Erişim tarihi 23 Ocak 2019].

Çığ, Muazzez İlmiye, *Sumerli Ludingirra*, Kaynak Yayınları, İstanbul 2009.

De Camp, L. Sprague, *The Ancient Engineers*, Dorset Pres, New York 1990.

De Miranda, Adriana, *Water Architecture in the Lands of Syria: Tha Water Wheels*, Roma 2007.

Derry, T. K. ve Trevor I. Williams, *A Short History of Technology*, Oxford University Press, Oxford 1979.

Diderot, Denis, *A Diderot Pictorial Encyclopedia of Trades and Industry*, 2 cilt, Editör Charles Coulstone Gillispie, Dover Publications Inc., New York 1959.

Dölen, Emre, "Samos adası ve ünlü su tüneli", *Doğa ve Bilim*, Sayı 13 (Şubat 1983), s. 35 – 47.

Dölen, Emre, *Su Yapıları ve Değirmenler*, İ.T.Ü. Fen – Edebiyat Fakültesi, İstanbul 2006.

Döring, M., "Der emissar des sees von Fucino", SdFG, Vol 19 (1995).

Eckoldt, Carl, *Kraftmaschinen I*, Deutsches Museum, München 2002.

Figuier, Louis, *Les Grandes Inventions Anciennes et Modernes Dans les Sciences, l'Industrie et les Arts*, Librairie de L. Hachette, Paris 1861.

Finch, James Kip, *The Story of Engineering*, Anchor Books, New York 1960.

Gimpel, Jean, *The Medieval Machine – The Industrial Revolution of the Middle Ages*, 2nd ed., Wildwood House Ltd., London 1988.

Gimpel, Jean, *Ortaçağda Endüstri Devrimi*, Çeviren Nazım Özüaydın, TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları, Ankara 1996.

Göğebakan, Yeliz ve Duygu Saban, "Dünya miras listesi ve Vespasianus – Titus Tüneli – Süreç üzerine bir değerlendirme", *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 11 (55), 333 – 344 (2018).

Gürkan, Reşat (Çeviren), "Çağlar boyunca borular", *DSİ Bülteni*, Sayı 83 – 138 (Ekim 1968), s. 13 – 16.

Gyula, Sitkei, *A Ganz Gyár A Magyar Elektrotechnika Aranykorábam/The Ganz Factory in the Golden Age of Electrical Engineering in Hungary*, Magyar Elektrotechnikat Muzeum, Budapest 2003.

Hill, Donald, *A History of Engineering in Classical and Medieval Times*, Routledge, London 1996.

Hill, Donald R., *Gökyüzü ve Bilim Tarihi – İslam Bilim ve Teknolojisi*, Çevirenler Atilla Bir ve Mustafa Kaçar, 2. baskı, Boyut, İstanbul 2012.

Hills, Richard Leslie, *Power From Wind – A History of Windmill Technology*, Cambridge University Press, Cambridge 1996.

Hilz, Helmut, *Theatrum Machinarum – Das technische Schaubuch der frühen Neuzeit*, Deutsches Museum, München 2008.

İren, Kaan, *Vazo Resimlerinin Işığında Eski Yunan Çömlekçiliği*, Türk Eskiçağ Bilimleri Enstitüsü Yayınları, İstanbul 2003.

Jacobsen, Thorkild ve Seton Lloyd, *Sennacherib's Aqueduct at Jerwan*, The University of Chicago Pres, Chicago 1935.

Kaçar, Mustafa, M. Şinasi Acar ve Atilla Bir, *XVI. Yüzyıl Osmanlı Astronomu Takiyüddin'in Gözlem Araçları*, Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları, İstanbul 2011.

Kekeç, Tevhit, "Eski Bergama'nın su yolları", *Arkeoloji ve Sanat*, Yıl 5/Sayı 22 – 23, s. 9 – 12.

Keller, A. G., "Renaissance waterworks and hydromechanics", *Endeavour*, 25 (96), 141 – 145 (1966).

Kiaulehn, Walther, *Demir Melekler*, Çeviren Hayrullah Örs, Remzi Kitabevi, İstanbul 1971.

Kienast, Hermann J., *The Aqueduct of Eupalinos on Samos*, Ministry of Culture Archaeological Receipts Fund Athens 2005.

Kirby, Richard Shelton, Sidney Withington, Arthur Burr Darling ve Frederick Gridley Kilgour, *Engineering History*, Dover Publications Inc., New York 1990.

Klemm, Friedrich, *Geschichte der Technik*, Rowohlt Taschenbuch Verlag, Hamburg 1989.

Kretzchemer, Fritz, *Resimlerle Antik Roma'da Mimarlık ve Mühendislik*, Çeviren Zühre İlkgelen, Arkeoloji ve Sanat Yayınları, İstanbul 2000.

Kürkçü, Mehmet, "Phaselis su sistemleri ve hidrografisi üzerine genel değerlendirme", *Phaselis*, 1, 69 – 79 (2015).

Landels, J. G., *Eski Yunan ve Roma'da Mühendislik*, Çeviren Barış Bıçakçı, TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları, Ankara 1996.

Leonardo: Evrensel Deha, Koç Müzesi Yayını, İstanbul 2006.

Lilley, Samuel, *Men, Machines and History*, Lawrence and Wishart, London 1965.

Major, J. Kenneth, "Water, wind and animal power", *An Encyclopedia of the History of Technology*, Editör Ian McNeil, Routledge, London 1989, s. 229 – 271.

Mamassis, N., S. Moustakas ve N. Zarkadoulas, "Representing the operation of ancient reclamation Works at Lake Copais in Greece", https://www.researchgate.net/publications/ 273640660.

Nasr, Seyyid Hüseyin, *İslam ve İlim – İslam Medeniyetinde Aklî İlimlerin Tarihi ve Esasları*, Çeviren İlhan Kutluer, İnsan Yayınları, İstanbul 1989.

Oberliesen, Rolf, *Information, Daten und Signale – Geschicte technischer Informationverarbeitung*, Rowohlt Taschenbuch Verlag, Hamburg 1982.

O'Dwyer, Dermont, "The drainage of the Fucine Lake in Antiquity and in the Nineteenth Century", *Studies in the History of Services and Costruction*, The Construction History Society, 2018, s. 157 – 170.

Öziş, Ünal, *Su Mühendisliği Tarihi Açısından Anadoludaki Eski Su Yapıları*, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Yayınları, İzmir 1984.

Öziş, Ünal, "Dörtbin yıl boyunca Türkiye'de su yapıları", *Türkiye Mühendislik Haberleri*, Sayı 419, 17 – 28 (2002).

Pacey, Arnold, *Technology in World Civilizations*, Basil Blackwell, Oxford 1990.

Palmer, Marilyn ve Peter Neaverson, *Industrial Archaelogy – Principles and Practice*, Routledge, London 2000.

Parise, Mario, Roberto Bixio, Ezio Burri, Vittoria Caloi, Sossio Del Prete, Carla Galeazzi, Carlo Germani, Paolo Guglia, Marco Meneghini ve Mariangella Sammarco, "The map of ancient underground aqueducts: A nationwide project by the Italian Speleological Society", *15th International Congress of Speleology Proceedings*, Vol 3, 2009, s. 2027 – 2031.

Patrick, A. J., *The Making of a Nation (1603 – 1789)*, Penguin Education, Harmondsworth 1973.

Pratt, Derek, *The Architecture of Canals*, Shire Publications Ltd., Buckinghamshire 2005.

Ramelli, Agostino, *The Various and Ingenious Machines of Agostino Ramelli – A Classic Sixteenth-Century Illustrated Treatise on Technology*, Çeviri, sözlük ve notlar Martha Teach Gnudi ve Eugene S. Ferguson, Dover Publications Inc., New York 1994.

Ringleb, G., *100 Jahre Galvanoteknik*, Langbein-Pfanhauser Werke AG, Duisburg 1973.

Roesch, Karl, "Kommagene – das Land – ubi ferrum nascitur", *Antike Welt*, 6 (Sondernummer), 15 – 18 (1975).

Santillana, Giorgio de, *The Origins of Scientific Thought*, New American Library, New York 1970.

Singer, Charles, *From Magic to Science*, Dover Publications Inc., New York 1958.

Smith, N. A. F., "Early Spanish dams", *Endeavour*, 28 (103), 13 – 16 (1969).

Suhling, Lothar, *Aufschliessen, Gewinnen und Fördern – Geschichte des Bergbaus*; Rowohlt Taschenbuch Verlag, Hamburg 1983.

Tez, Zeki, *Bilim ve Teknikte Ortaçağ Müslümanları*, Nobel Yayın Dağıtım. Ankara 2001.

Turner, Trevor, "John Smeaton, FRS (1724 – 1792)", Endeavour, 33 (118), 29 – 33 (1974).

Unutmaz, İrfan, "Binlerce yıllık bir mühendislik yapıtı", *Cumhuriyet Bilim Teknik*, Sayı 199 (5 Ocak 1991), s. 12 – 13.

Usher, Abbott Payson, *A History of Mechanical Inventions*, Dover Publications Inc., New York 1988.

Varchmin, Joachim ve Joachim Radkau, *Kraft, Energie und Arbeit*, Rowohlt Taschenbuch Verlag, Hamburg 1983.

Vitruvius, *Mimarlık Üzerine*, Çeviren Çiğdem Dürüşken, 3. baskı, Alfa Yayınları, İstanbul 2018.

Williams, Brenda, *Secrets of the Domsday Book*, Piktin Guides, Hempshire 2008.

Wolf, A., *A History of Science and Technology and Philosophy in the 16th and 17th Centuries*, 2 cilt, Harper Torcbooks, New York 1959.

KISIM – 2

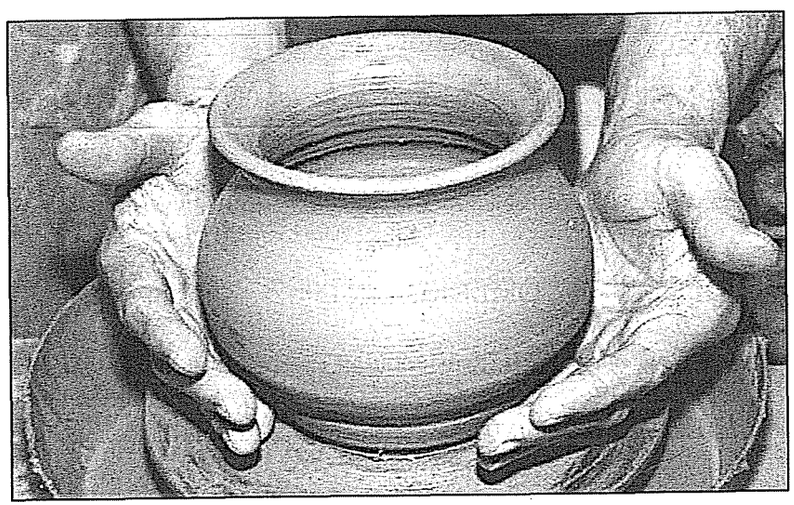
ATEŞ TEKNOLOJİSİ

BÖLÜM – 5: ÇÖMLEKÇİLİK

BÖLÜM – 6: BAKIR VE TUNÇ

BÖLÜM – 7: DEMİR VE ÇELİK

BÖLÜM – 8: CAMCILIK

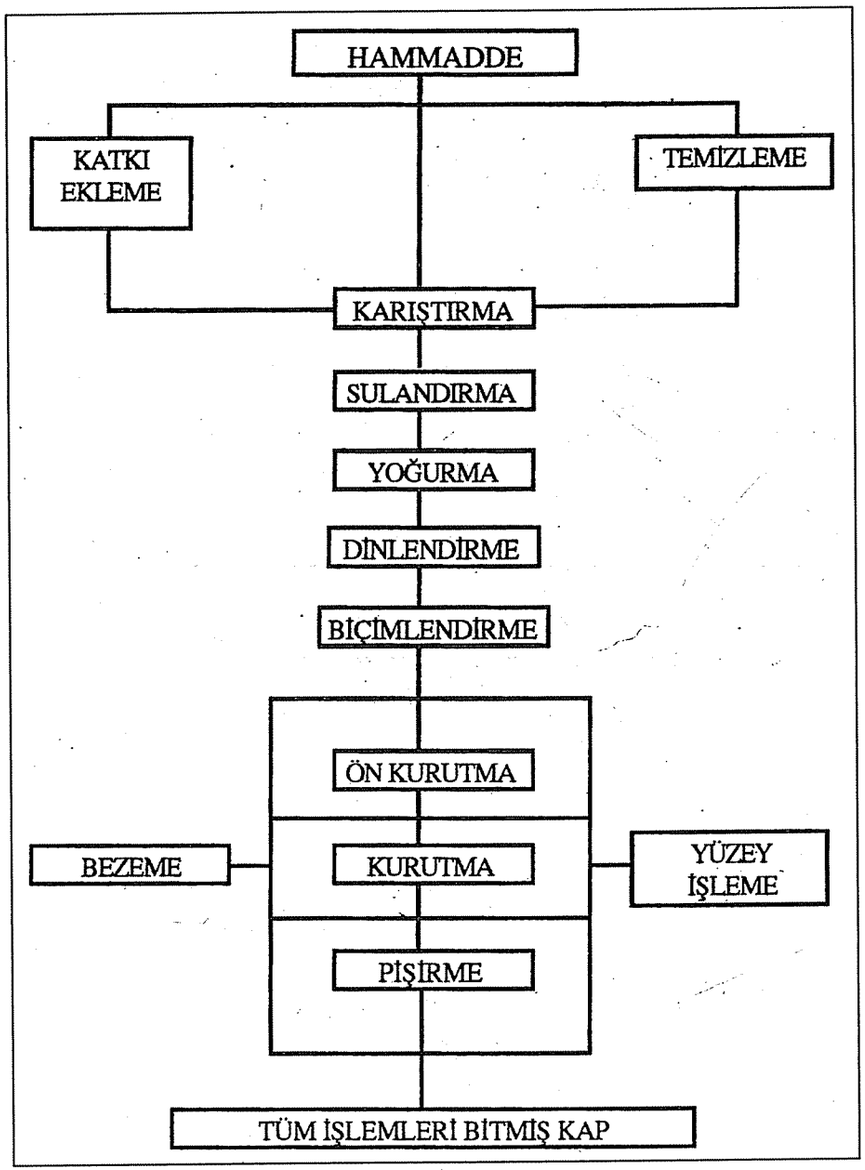


BÖLÜM – 5

ÇÖMLEKÇİLİK

ÇÖMLEKÇİLİK

Topraktan veya kil hamurundan yapılıp ateşte pişirilerek sertleştirilmiş eşyaya genel olarak *çömlek*, bunların yapımına ilişkin işlere *çömlekçilik* ve pişirilmiş toprağa da *seramik* veya *keramik* adı verilir. Arkeolojik buluntular insanların tarih öncesinden başlayarak ve özellikle de yerleşik düzene geçmeleriyle birlikte çömlek üretimine başladıklarını göstermektedir. En ilkel biçimi ile de olsa çömlekçilik oldukça karmaşık bir uğraşı alanıdır. Bunun için gerekli uygun toprak veya kilin bulunması, yıkanması, homojen bir çamur elde edilmesi, çamurun biçimlendirilmesi, kurutulması ve pişirilmesi büyük bir bilgi birikimi ve ustalık gerektirir. Başlangıçta üretilen kaplar basit birkaç tipte olmakla birlikte kısa sürede biçim ve amaç bakımından çeşitlenmiş ve üzerlerine desen ve süsler yapılmaya başlanmıştır. Bu süslemeler başlangıçta geometrik desenler olmakla birlikte zaman içinde bazı uygarlıklarda resimlere dönüşmüştür. Çömleğin boyanması çok daha karmaşık bir işlemdir ve bu beceri ilk kez Yakındoğu'da kazanılmıştır. Üzerine yapılan desen ve resimlerin iyi ve belirgin olması için çömleğin doğrudan alev temasında olmaksızın 900 – 1000 °C de pişirilmesi gereklidir. Tarihsel açıdan bakıldığında çömlekçiliğin en eski teknolojilerden biri olduğu görülmektedir. Üretilmesi için beceri gerektirmesi ve pişirmek için özel fırınların kullanılması çömlekçiliği insanların yerleşik düzene geçişlerinden kısa bir süre sonra bir meslek haline getirmiştir. Çömlekçi çarkının bulunması hızlı ve kütlesel üretime yol açmış ve böylece çömlekçilik insanlığın ilk sanayi dallarından biri olmuştur. Çömlek üretiminin genel akım şeması (Şekil – 5.1)'de verilmiştir.



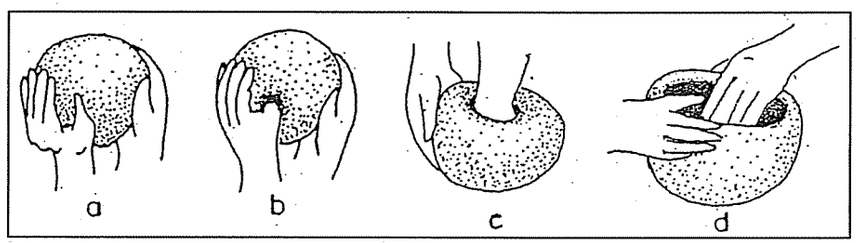
Şekil – 5.1: Çömlekçilikte ham kilden bitmiş ürüne kadar geçen üretim aşamalarının akım şeması. [Ökse, s. 139].

BİÇİMLENDİRME YÖNTEMLERİ

El ile biçimlendirme yöntemleri

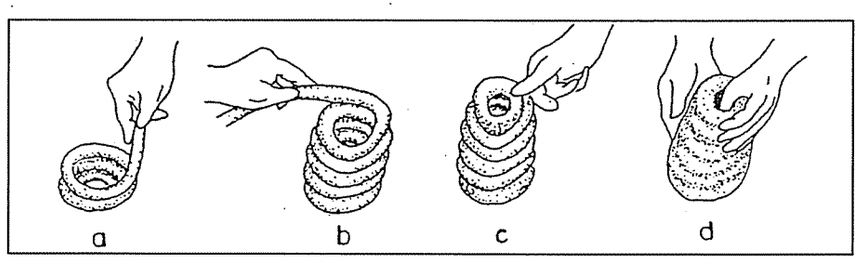
Kilin biçimlendirilerek çeşitli kapların yapımı için başlangıçta uygulanan yöntemler doğrudan elle biçimlendirme üzerine dayanır. Bu yöntemler dört grup altında toplanabilir:

Birinci ve en basit yöntem bir toprak hamuru topağının doğrudan elde biçimlendirilmesidir. (Şekil – 5.2).



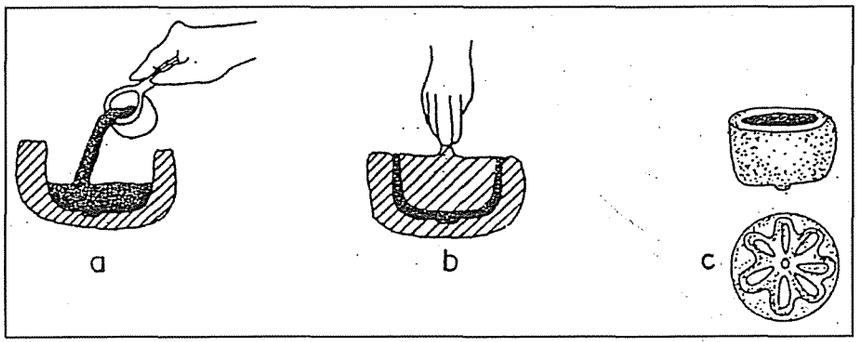
Şekil – 5.2: Çömlek yapımında toprak hamurunun doğrudan el ile biçimlendirilmesi [Ökse, s. 140].

İkinci yöntem kilden yapılan halkaların üst üste konularak birbirleri ile birleştirilmesine dayanan şerit tekniğidir. Bu uzun zaman alan bir yöntemdir. Halkalar yerleştirildiği zaman birbirleriyle birleştirilebilmesi için hamur oldukça yumuşak ve ıslak olmalıdır. Buna karşılık, her bir halka yerine yerleştirildikten sonra bir ikincisinin bunun üzerine konulabilmesi için kuruyup biraz sertleşmesini beklemek gerekir. Böylece büyük bir çömleğin yapımı günlerce sürebilir. (Şekil – 5.3).



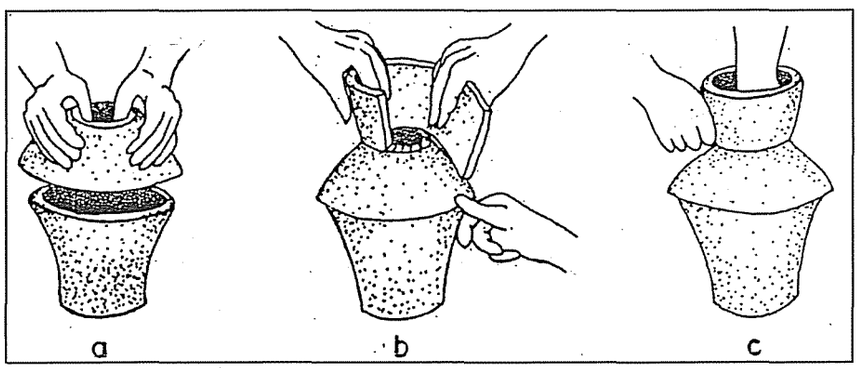
Şekil – 5.3: Çömlek yapımında toprak hamurunun biçimlendirilmesinde kullanılan şerit yöntemi. [Ökse, s. 140].

Üçüncü yöntem kilin iç ve dış kalıp kullanılarak biçimlendirilmesidir. Kil hamuru bir dış kalıp içine doldurulur ve bir iç kalıp bunun ortasına bastırılarak biçim verilir. Bu yöntem fazla yaygın olmamakla birlikte en önemli üstünlüğü kalıplara oyulan desenlerin kap üzerine kabartma olarak çıkmasıdır. (Şekil – 5.4).



Şekil – 5.4: Çömlek yapımında toprak hamurunun biçimlendirilmesinde kullanılan kalıp yöntemi. [Ökse, s. 140].

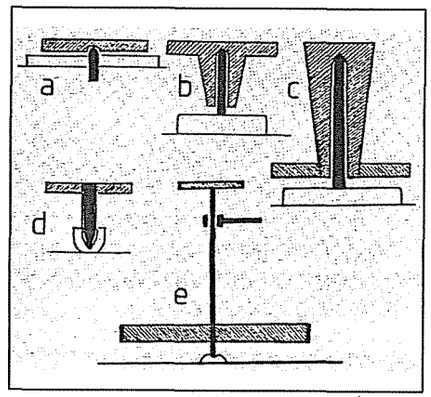
Dördüncü yöntem özellikle büyük kapların parça parça yapılarak birleştirilmesidir. (Şekil – 5.5). Elle biçimlendirme ile tam simetrik bir geometrik biçim elde edilemez. Bu sorunlar çömlekçi çarkının bulunmasıyla çözümlenmiştir. Bununla birlikte bu yöntem çömlekçi çarkının kullanılmaya başlanmasından sonra da kulp ve emzik gibi parçaların eklenmesi için kısmen kullanılmıştır.



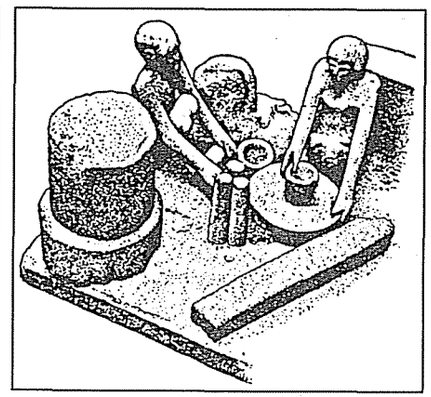
Şekil – 5.5: Çömlek yapımında toprak hamurunun biçimlendirilmesinde kullanılan birleştirme yöntemi. [Ökse, s. 140].

Çömlekçi çarkı

İlk çömlekçi çarkları bir eksen etrafında dönebilen tabla biçiminde ve yatay konumda bir tekerlekti. Çömlekçi bir eliyle tekerleği çevirirken öteki eliyle de bunun üzerine koyduğu kil hamuru topağını biçimlendirirdi. Daha sonraları tablanın altına aynı eksene bağlı ikinci bir tekerlek eklendi. (Şekil – 5.6 ve 5.7). Bu gelişme sonucunda çömlekçi ayağıyla alttaki tekerleği ve dolayısıyla tablayı çevirirken iki eliyle de kili biçimlendirmeye başladı.



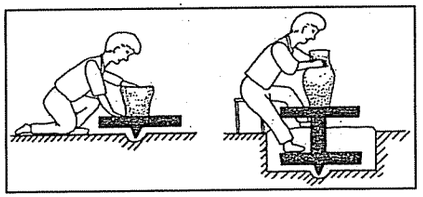
Şekil – 5.6: Çömlekçi çarkı için kullanılmış olan çeşitli sistemler. (a). (b) ve (c) Hellenistik döneme ilişkin, (d) elle ve (e) ayakla çevrulen çömlekçi çarkları. [Mämpel, s. 50].



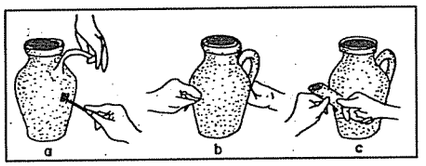
Şekil – 5.7: Eski Mısır'lı çömlekçileri, çömlekçi çarkını ve fırını gösteren model. (İ.Ö. ≈ 1900). [Derry ve Williams, s. 76].

Biçimlendirmenin ayakla çevrilen çömlekçi çarkında iki elle yapılmaya başlanması biçim ve kalite yönünden çok daha yetkin ürünlerin ortaya çıkmasına olanak sağladı. (Şekil – 5.8, 5.9 ve 5.10). Çömlekçilikte kullanılan çömlekçi çarkının bulunuşu teknoloji tarihinin en önemli buluşlarından biridir. Çömlekçi çarkı kütlesel üretime, üretilen malların ticaretine ve çömlekçiliğin kapalı ev ekonomisinin kapsamından çıkarak bir uzmanlık dalı biçimini almasına yol açtı. (Şekil – 5.11 ve 5.12). Çömlekçilik pişirme fırınlarının gelişimine neden olarak metalürji alanındaki gelişmelerle etkileşim içine girdi. Fırınların gelişimi inşaat teknolojisi alanında kerpiçten tuğlaya

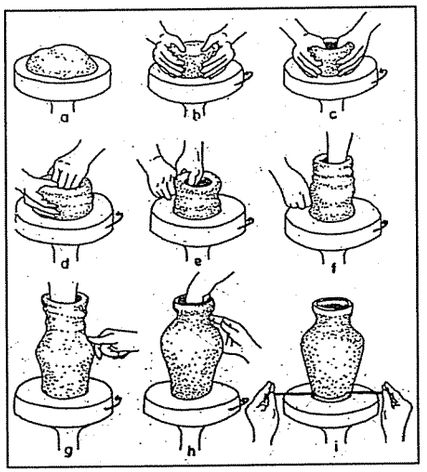
geçişi sağladığı gibi temel ilkesi modern sanayide de kullanılan çömlekçi çarkı da torna tezgâhının öncüsü oldu.



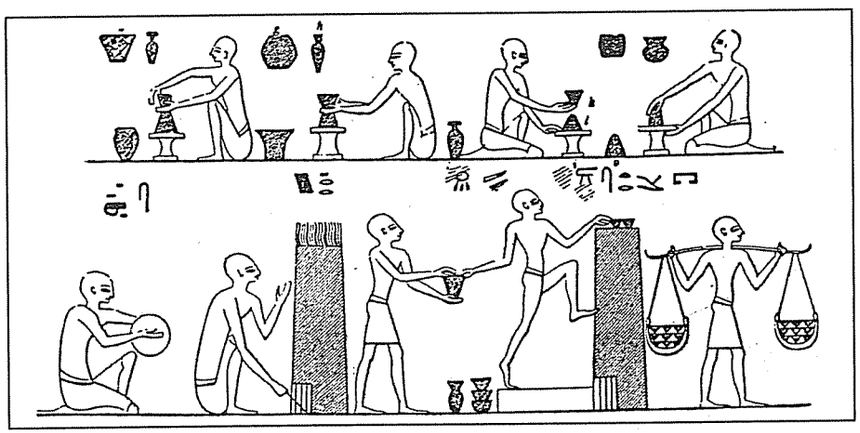
Şekil – 5.8: Elle ve ayakla çevrilen çömlekçi çarkları ile çalışma biçimi. [Ökse, s. 141].



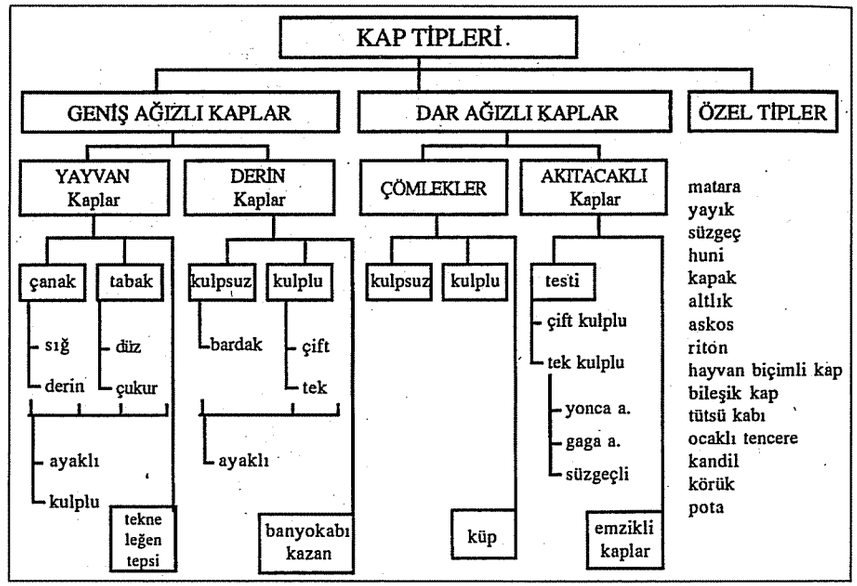
Şekil – 5.9: Çarkda biçimlendirilen kaba kulp ve emzik eklenmesi. [Ökse, s. 142].



Şekil – 5.10: Çömlekçi çarkında biçimlendirmenin yapılışı. [Ökse, s. 141].



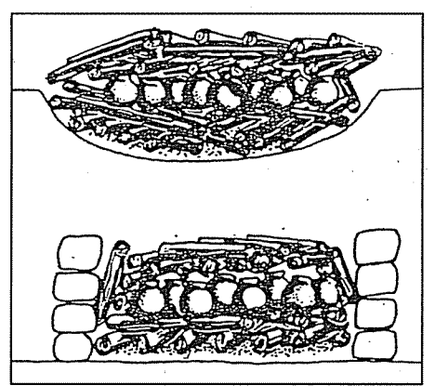
Şekil – 5.11: Eski Mısır'da Orta İmparatorluk döneminde çömlekçiler. (Beni Hasan; İ.Ö. 1900). Yukarda elle çevrilen çömlekçi çarkının başında çalışan çömlekçiler üretimin dört basamağını gösteriyor. Birincisi çömleği yapıyor, ikincisi biten çömleği keserek ayırıyor, üçüncüsü alıyor ve dördüncüsü yeni bir çömleğin yapımına başlıyor. Aşağıda ise bir levhanın elle biçimlendirilmesi, iki tane pişirme fırını ve pişen çömleklerin taşınması görülüyor. [Partington, s. 8].



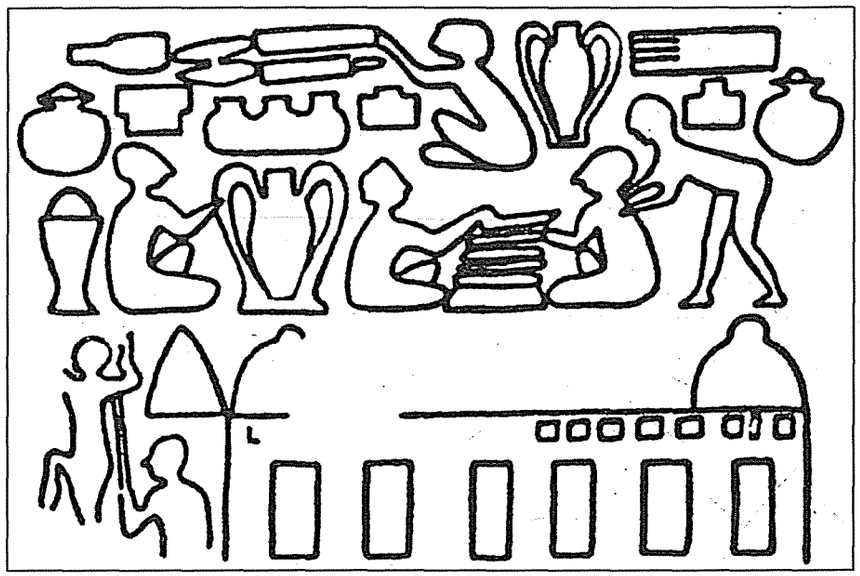
Şekil – 5.12: Eskiçağ'da üretilen pişmiş toprak eşyanın biçim ve kullanılış amaçlarına göre sınıflandırılması. [Ökse, s. 148].

PİŞİRME İŞLEMİ VE FIRINLAR

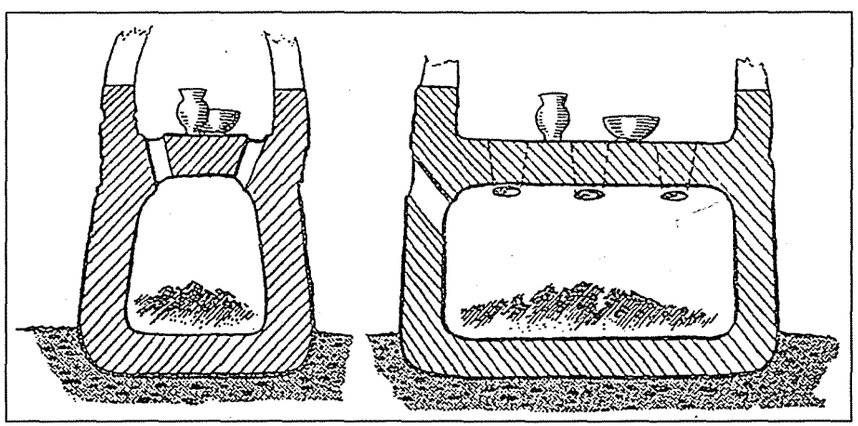
Önceleri pişirme işlemi açık ateşte yapılırken zamanla gerekli sıcaklığın elde edilmesini sağlayan özel olarak yapılmış fırınlarlar geliştirilmiştir. (Şekil – 5.13, 5.14, 5.15 ve 5.16). Bu tür fırınların orta ve batı Avrupa'da kullanımı ancak Demir Çağı ile birlikte başlamıştır.



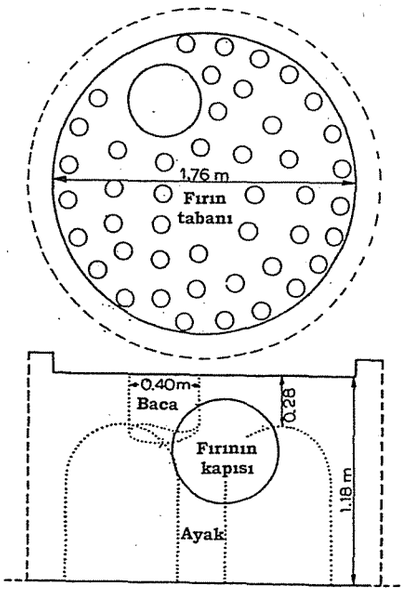
Şekil – 5.13: Çömleklerin pişirilmesi için özel fırınların geliştirilmesinden önce uygulanan açık ateşte pişirme yöntemi. [Ökse, s. 143].



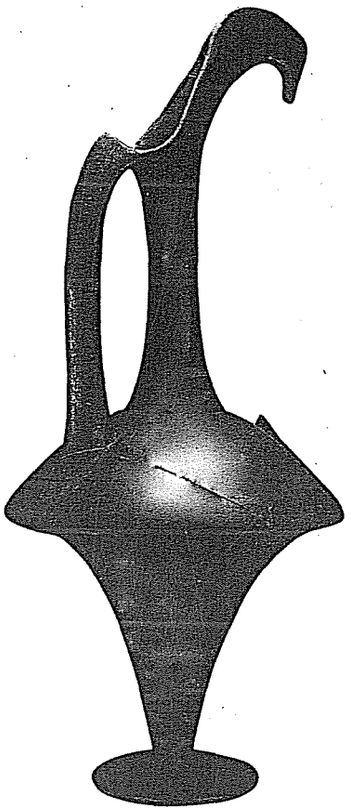
Şekil – 5.14: Mezopotamya'da Susa'da bulunmuş çömlek yapımını gösteren bir silindir mühür. Alt yanda kubbeli bir fırın görülmektedir. Modern tuğla fırınlarını andıran bu fırında ısıtılan çömleklerin neminin çıkması için delikler bulunmaktadır. Alevin pişirilen eşya ile doğrudan temas edip etmediği anlaşılamamaktadır.
[Levey, s. 24].



Şekil – 5.15: Mezopotamya'da Susa'da bulunmuş olan bir çömlek fırınının çizimi. (İ.Ö. ≈ 4000]. Bu fırının sıcaklığının 1000 – 1200 °C ye kadar çıkabileceği tahmin edilmektedir. [Henseling, s. 17].



Şekil – 5.16: Mezopotamya'da Susa'da bulunmuş olan ve İ.Ö. 2000'ler olarak tarihlenen bir fırının enine ve boyuna kesiti. Dairesel yanma odasının çapı 176 cm dir ve üzerinde 8 cm çapında 45 tane delik ile bir baca deliği vardır. Yanma odasının kapısı bir taş levha ile kapatılmaktadır. Böyle bir fırının körükle hava verilmeksizin çok yüksek sıcaklıklara ulaşması olanaksızdır. Fırının düşük sıcaklıklar için planlandığı görülmektedir. Susa'da yapılan çeşitli fırınlarda İ.Ö. 3000'lerde 1100 °C dolayına ulaşılmıştır.
[Levey, s. 25].



Şekil – 5.17: Çorum yöresinde bulunmuş Eski Hitit çağına ilişkin pişmiş topraktan yapılmış gaga ağızlı libasyon testisi. (İ.Ö. 1750; Anadolu Medeniyetleri Müzesi, Ankara).

KIRMIZI – SİYAH KERAMİKLER

Kırmızı – siyah keramikler

Ege bölgesinde İ.Ö. VI. ve V. yüzyıllarda kırmızı – siyah boyalı keramik eşya yapımı ortaya çıktı. Bunlar İ.Ö. 500 yılına kadar kırmızı zemin üzerine siyah resimli olarak yapılırken

daha sonraları siyah zemin üzerine kırmızı resimli olarak da yapılmaya başlanıldı. Bu keramikler üzerinde bazen beyaz kaolin kullanılarak beyaz boyama da yapılmaktaydı. (Şekil – 5.18 — 5.23).

Şekil – 5.18: Yunanistan'da Boitoia'da bulunmuş kap (pelike).. [Atina Arkeoloji Müzesi; Haspels, Levha 49/2].

Şekil – 5.19: İtalya'da Vulci'de bulunmuş ressam Eksekias imzalı kyliks. [Münih Eski Küçük Sanat Eserleri Müzesi; Haspels, Lavha 24/1].

Şekil – 5.20: Üzerine Herakles'in Centaur'a saldırısı resmedilmiş kırmızı üzerine siyah boyalı kap. (İ.Ö. 530 – 520; Atina) [J. Paul Getty Müzesi].

Şekil – 5.21: Üzerine Akhilleus ile Hektor'un çarpışması resmedilmiş kırmızı üzerine siyah boyalı kap. (İ.Ö. 490; Eretria/Yunanistan). [Louvre Müzesi].

Şekil – 5.22: Aynı imalâthanede üretilmiş ve üzelerine Herakles'in bir boğayı sürüşünün resmedildiği iki vazo. (İ.Ö. 520). Aynı resim soldaki kapta kırmızı üzerine siyah ve sağdaki kapta siyah üzerine kırmızı olarak yapılmıştır.

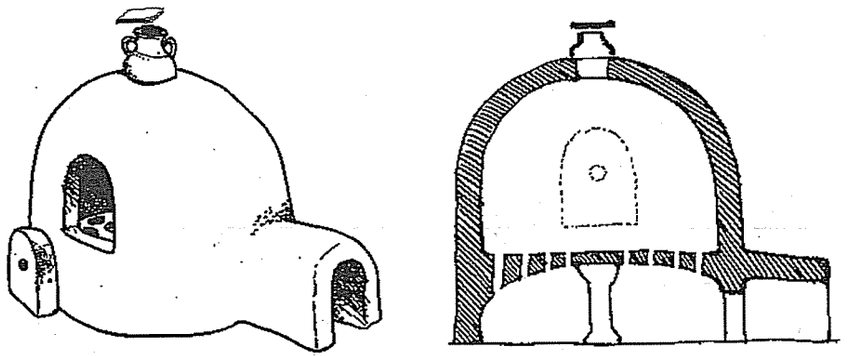
Şekil – 5.23: Üzerinde Herakles ile Athena'nın siyah zemin üzerine kırmızı olarak resmedilmiş olduğu bir tabak. (İ.Ö. 480 – 470).

Günümüzde bu keramiklerin nasıl üretildiği çözülmüştür.[1] Bunların üretimi için kil olarak potasyum ve demir içeren bir alüminyum silikat olan *illit* alınmıştır. İllitli kil tanen gibi peptizörler katılarak sulu balçık biçimine getirilip bekletilir. Burada üç katman oluşur. Üstteki sulu kısım potasyum oksit [K_2O] ve demir(III) oksit [Fe_2O_3] bakımından zengindir ve gözenekli kaplar içine konularak koyulaşmaya bırakılır. En dibe çöken kaba taneler ve kuvars parçaları atılır. Ortadaki kısım yoğrularak işlenecek biçime getirilip çömlekçi çarkında biçimlendirilerek havada kurutulur. Kısmen kuruduktan sonra yüzeyi parlatılır ve üzerine gözenekli kaplarda yeterince koyulaşmış olan sulu kısım kullanılarak bir fırça yardımıyla istenilen resimler yapılır.

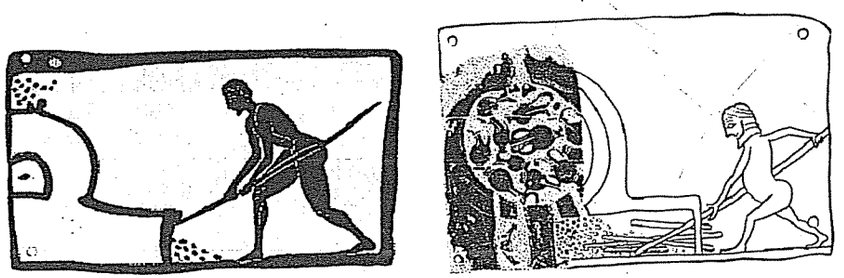
Pişirme işleminin yapıldığı özel kubbeli fırının çapı üç metre dolayında olup yanında bir yükleme boşaltma kapağı ve bir de içerdeki durumu gözlemek için gözleme deliği vardır. (Şekil – 5.24 ve 5.25).

---

1 Yılmaz Yetmen, "Antika seramik ve kimya", *Kimya ve Sanayi*, 16 (73), 29 – 38 (1968); Zeki Tez, "Eski Yunan vazo süslemeciliğinin tarihsel ve kimyasal değerlendirimi", *Doğa ve Bilim*, Sayı 7, 73 – 76 (Ekim 1981).



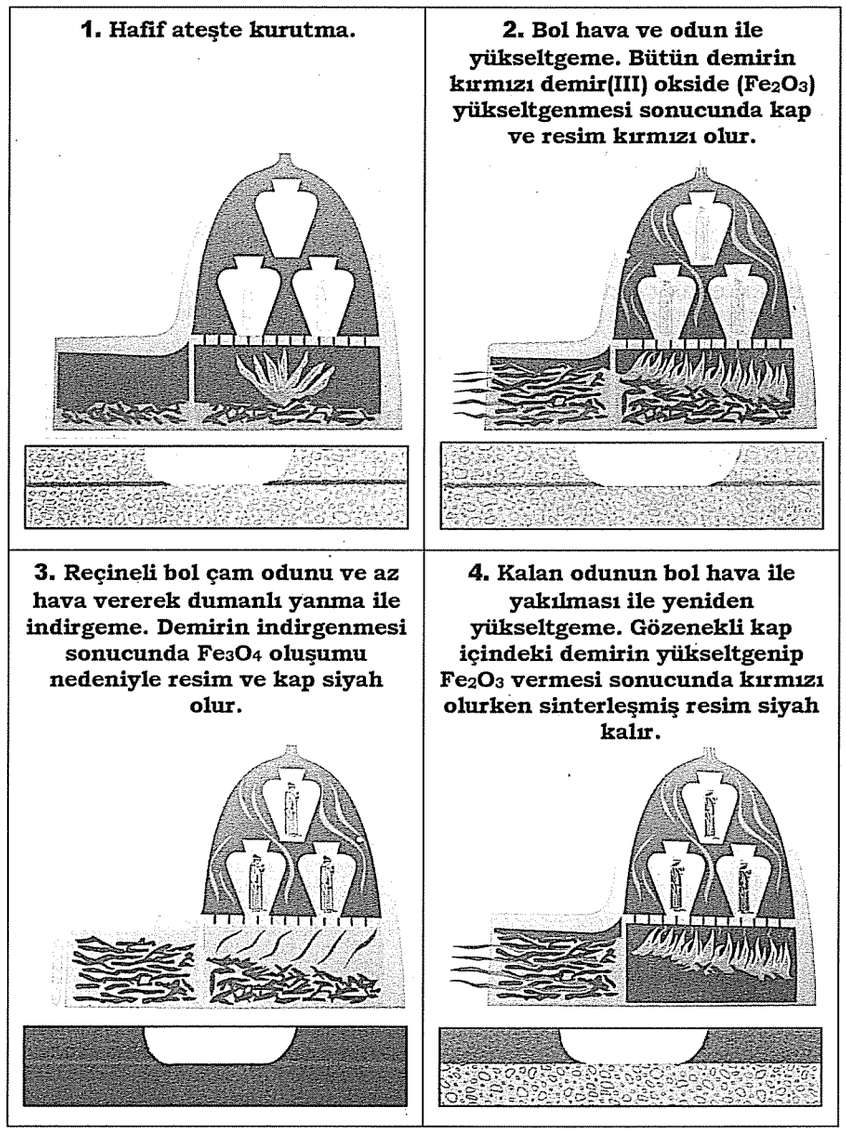
Şekil – 5.24: Kırmızı – siyah keramiklerin pişirildiği fırın ve kesiti.



Şekil – 5.25: Boyalı keramik parçaları üzerinde pişirme fırınlarını yakan ustalar.

Pişirme işlemi dört aşama üzerinden yapılır. (Şekil – 5.26). Birinci aşamada fırına yerleştirilen malzemenin hızla yüksek sıcaklığa kadar ısıtıldığında çatlamasını önlemek için önce hafif ateşte kuruması sağlanır. İkinci aşamada asıl pişirme basamağı olup pişirme fırınında bol odun ve hava kullanılarak yükseltgen bir ortam sağlanır. Bu aşama üç saat kadar sürer ve bütün demirin kırmızı renkli demir(III) oksit [Fe_2O_3] biçimine yükseltgenmesi sonucunda gerek kap ve gerekse üzerindeki boya kırmızı bir renk alır. Üçüncü aşamada pişirme fırını reçineli çam odunu kullanılarak ve bol oduna karşılık az hava verilerek dumanlı yanmayla ısıtılır ve gerekirse fırının bacası da kapatılır. Dumanlı yanma oluşan karbon monoksit (CO) nedeniyle indirgen bir ortam sağlar ve sıcaklık en çok 850 ^oC ye kadar yükselir. Bu sırada gerek çömleğin kendisi ve gerekse üzerine sürülen boya katmanındaki demir indirgenir ve oluşan demir(II,III) oksit [Fe_3O_4] nedeniyle kabın

tümü siyah bir renk alır. Bu pişirme işlemi dört saat kadar sürer. Bu sıcaklıkta, potasyum oksit [K_2O] bakımından zengin olan boya katmanı gözeneksiz bir yapı oluşturarak sinterleşir.



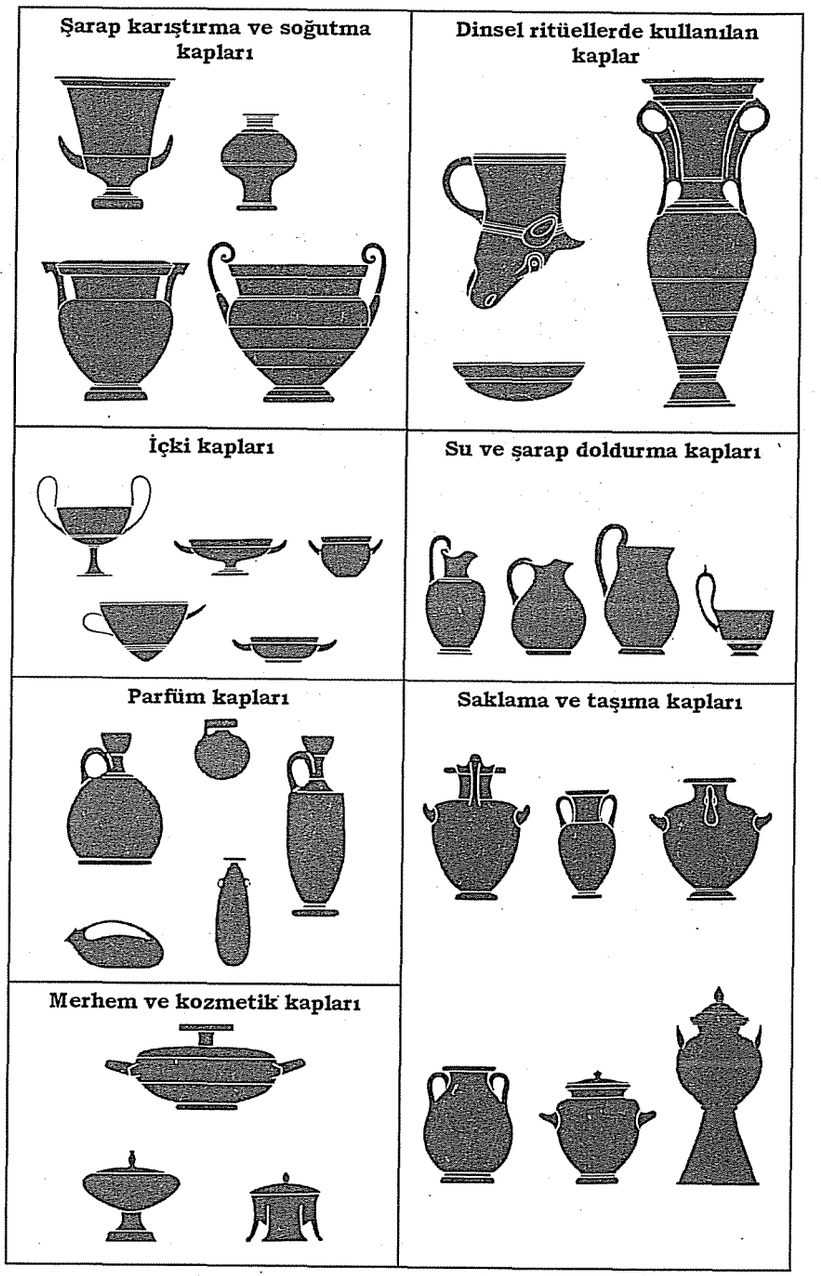
Şekil – 5.26: Kırmızı – siyah keramiklerin pişirilme aşamaları. [Deutsches Museum].

Sinterleşme olayı küçük taneciklerin yüzeylerinde ortaya çıkan kısmi erime sonucunda bunların birbiriyle birleşerek kaynaşmasıdır. Dördüncü aşamada fırının kapakları açılarak kalan odunun bol hava ile yanması sağlanır. Bu aşamada bir yandan sıcaklık yükselirken öte yandan da bol oksijen nedeniyle fırın ortamı yükseltgen olur. Potasyum oksit azlığı nedeniyle ilk pişirme aşamasında sinterleşmeyen ve gözenekli kalan esas kabın içine kadar işleyen oksijen siyah renkli demir(II,III) oksidi kırmızı renkli demir(III) okside yükseltger. Buna karşılık, boya katmanı sinterleşmiş olduğundan oksijen buradaki demiri yükseltgeyemez ve resimler siyah olarak kalır. Böylece, pişirme sonucunda boya katmanı siyah olarak kalırken esas çömlek kısmı kırmızı bir renk alır.

Terra sigillata

Roma döneminde, İ.Ö. 100'de günümüzdeki Arezzo'da açılan imalâthanelerde üzeri kabartmalı kapların seri üretimi yapılmaya başlanmıştır. Bunlar gerek üzerlerindeki kabartmalar ve gerekse imalâthane mührü ile mühürlenmiş olmaları nedeniyle *terra sigillata* [mühürlü toprak] adıyla anılmaya başlanmıştır. Burada gene illitli kil kullanılmış, ancak daha yüksek sıcaklıkta yapılan pişirme sonucu ikinci pişirme aşamasında esas kabın üst katmanının da sinterleşmesi sağlanarak bütünüyle gözeneksiz ve kırmızı renkli eşya elde edilmiştir. (Şekil – 5.27).

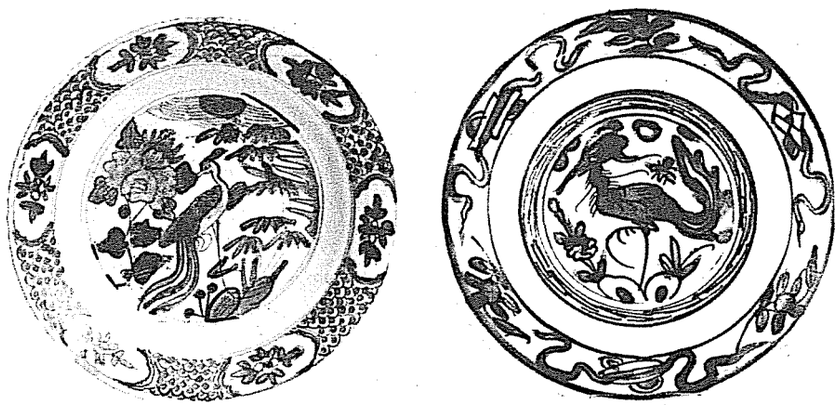
Şekil – 5.27: Arezzo yapımı kalıplama ve çark tekniği ile üretilmiş bir terra sigillata örneği. (İ.S, I. yüzyıl; çap 17,6 cm ve yükseklek 13,8 cm).



Şekil – 5.28: Ege çevresinde üretilmiş olan çömleklerin tür ve biçimleri. [Phoca ve Valavanis, s. 8 – 9].

ÇİN PORSELENLERİ

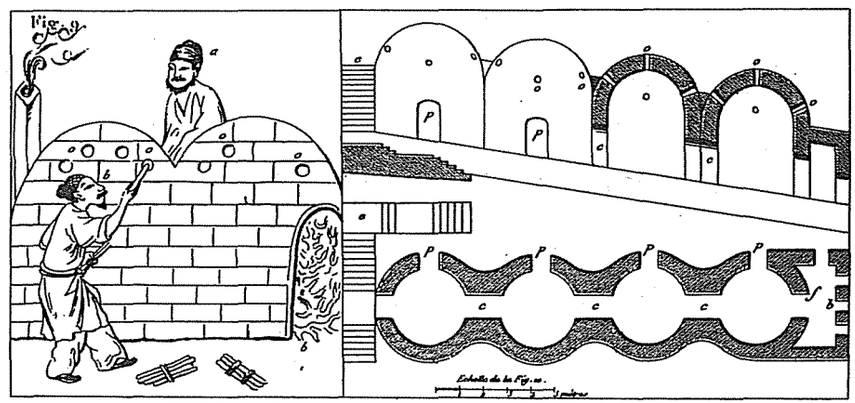
Porselen sözcüğü Marco Polo'nun Çin'de gördüğü seramikleri tanımlamak için kullandığı *porcellana* sözcüğünden türemiştir. Porselen beyaz, ince yapılı, genellikle saydam ve vitrifiye (camlaşmış) yapıya sahip bir seramiktir. Gerçek Çin ponrseleni veya sert hamur porselen yanında Çin dışında üretilmiş yapay veya yumuşak hamur porselen ile kemik külü içeren porselen olmak üzere üç tür porselen vardır. Porselen Çin'de ilk kez Tang Hanedanı döneminde (618 – 907) ilkel bir biçimde elde edilmiş ve Yuan Hanedanı döneminde (1279 – 1368) batıda iyi bilinen mükemmel durumuna ulaşmıştır. Porselen yapımı uzun süre gizli tutulmuş ve porselen eşya İpek Yolu üzerinden Orta Doğu ve Avrupa'ya lüks tüketim malı olarak ihraç edilmiştir. (Şekil – 5.29). Buna karşılık bu bölgelerde porselenin sırrını çözmek veya benzerini üretmek konusundaki çalışmalar da sürmüştür.



Şekil – 5.29: Beyaz zemin üzerine mavi boyalı Çin porselen tabaklarından örnekler.

Gerçek sert hamur porselen *petuntse* veya *porselen taşı* adı verilen feldispat esaslı bir kayanın iyice öğütülüp beyaz porselen kili (kaolin) ile karıştırılmasıyla hazırlanan hamurdan üretilip yüksek sıcaklıkta (1400 °C) pişirilerek vitrifiye edilmesi ile elde edilir. (Şekil – 5.30). Ortaçağ Avrupa'sındaki çömlekçiler saydam Çin porselenlerini taklit etmek için kil ve öğütülmüş camdan oluşan yumuşak hamuru 1200 °C de

pişirmişlerdir. Avrupa'da ilk yumuşak hamur porselen 1575'de Floransa'da yapılmış olmakla birlikte XVIII. yüzyıla kadar büyük miktarda üretilmemiştir. Gerçek sert hamur porselen XVIII. yüzyıl başlarında Saksonya'da üretilmiştir. XIX. yüzyılın başında İngiltere'de sert hamur porselenin bileşimine kemik külü katılarak daha sert bir porselen elde edilmiştir. Sert hamur porselen Avrupa'da tercih edilirken kemik küllü porselen İngiltere ve Amerika'da tercih edilmiştir.

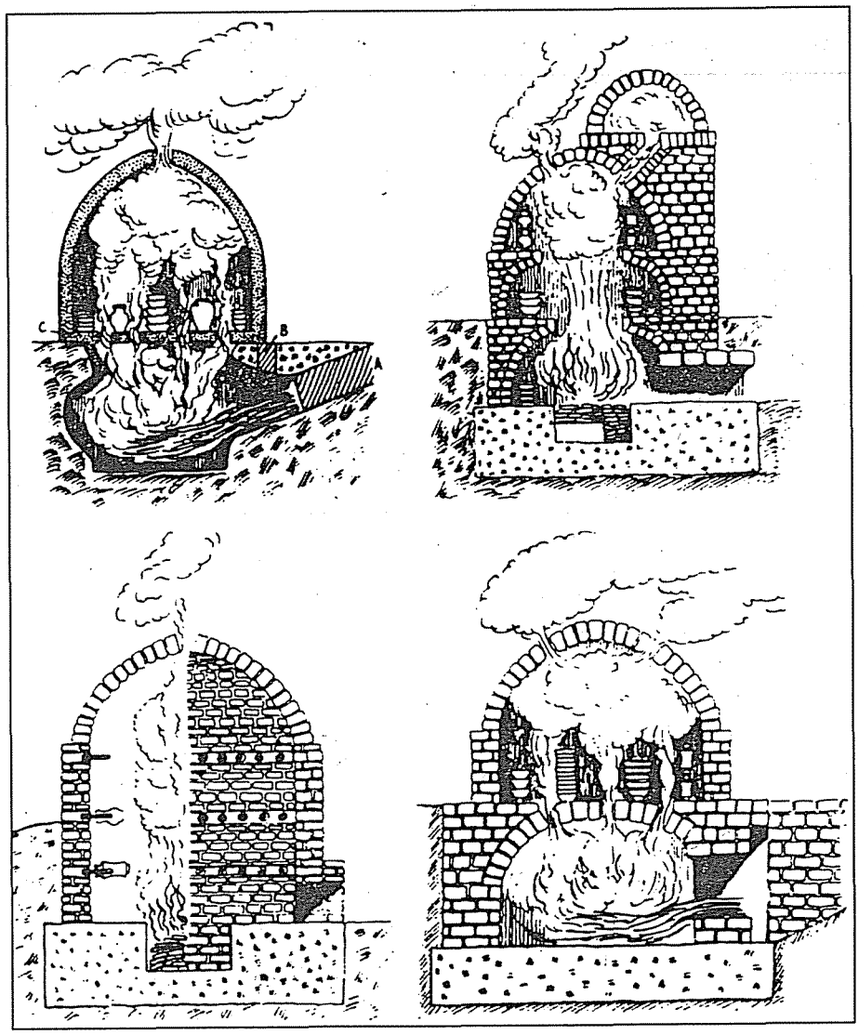


Şekil – 5.30: Çin'de porselen pişirmek için kullanılan fırınlar. Burada birbirini izleyerek ateşlenen dizi fırın sisteminin ilk örneklerinden biri görülmektedir.

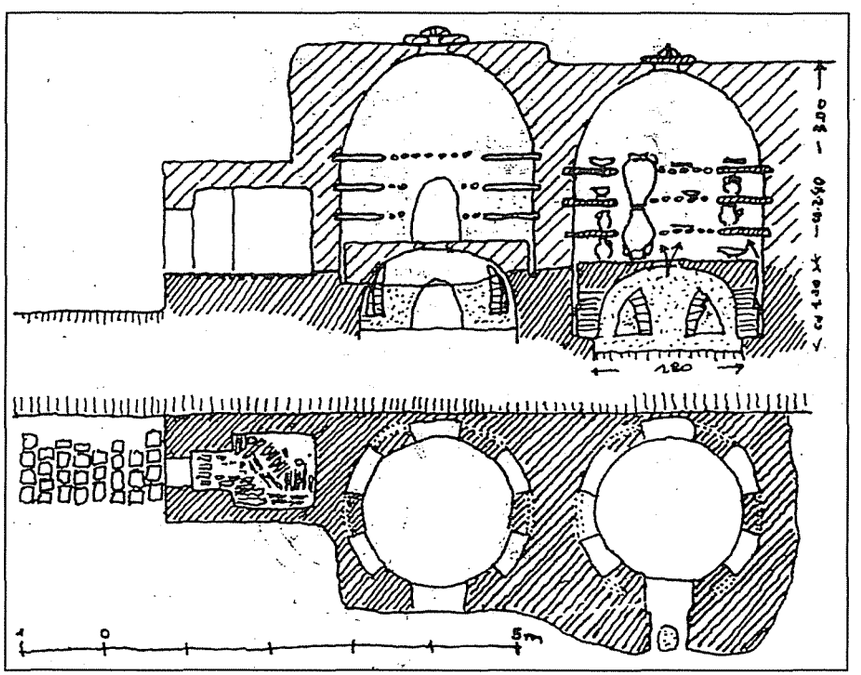
İSLÂM DÖNEMİNDE ÇÖMLEKÇİLİK

İslâm dönemindeki çömlekçilik genel olarak üç döneme ayrılır. Buna göre XI. yüzyıla kadar olan dönem "ilk dönem", XI. yüzyıldan XVI. yüzyıla kadar olan dönem "orta dönem" ve XVI. yüzyıl ile sonrası "geç dönem" olarak adlandırılır. İlk dönemin en önemli özelliği geçmişte Mezopotamya ve Mısır'da bilinmekle birlikte unutulmuş olan sırlama tekniğinin IX. yüzyılda yeniden keşfidir. Kurşun silikat sır üzerine kalay oksit katılarak Çin porselenlerinin krem rengi elde edilmiştir. Kalay sır üzerine anorganik pigmentler ile yapılan boyamanın ardından ikinci kez fırınlama ile parlak renkli bir yüzey elde edilmiştir. Orta dönemin en önemli özelliği beyaz seramik elde edilmesidir. Toz kuvars, beyaz kil (kaolin) ve potas karışımından Çin porselenlerinin benzeri çok sert ve yarı

saydam ürünler elde edilerek Çin porselenlerinin sırrı büyük ölçüde çözülmüştür. Kullanılan pişirme fırınları Mezopotamya döneminden beri önemli bir değişim geçirmemiştir. (Şekil – 5.31, 5.32, 5.33 ve 5.34).

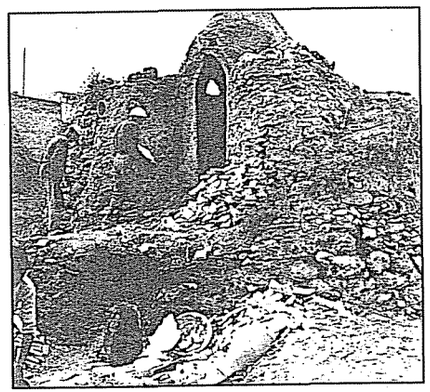


Şekil – 5.31: Kazılardan elede edilen bilgilere göre Selçuklu döneminde kullanılan seramik fırınları. [Karamağaralı, s. 89].

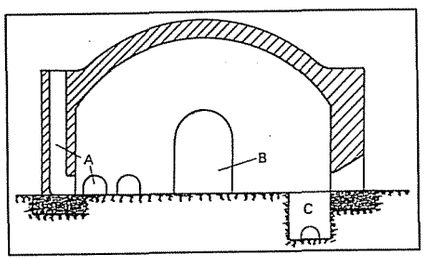


Şekil – 5.32: İran'da Gürgan'da yapılan kazılardan elde edilen bilgilere göre Selçuklu döneminde birinci ve ikinci pişirme için kullanılan seramik fırınları. [Karamağaralı, s. 90].

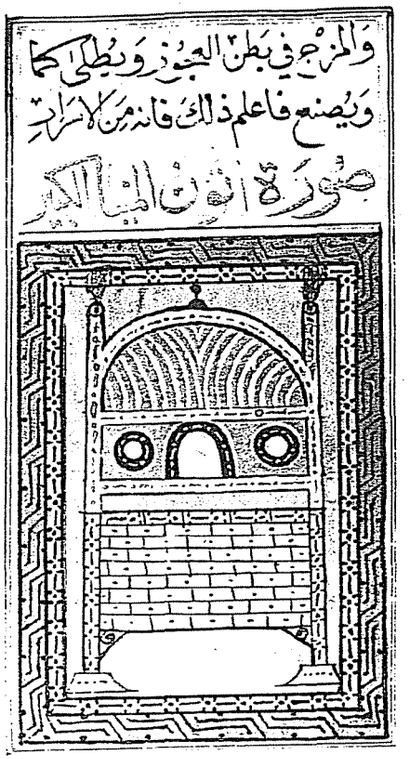
Alkali sırlar kuartz (SiO_2, silisyum dioksit), soda, potas ve bazen de adi tuzdan yapılır ve bütünüyle saydamdır. Kurşunlu sır kurşun(II,IV) oksit ($2PbO + PbO_2 = Pb_3O_4$) ile çakmaktaşı (kuarts) karışımından oluşur ve kurşun oksit eritici görevini görür. Çok yaygın olmayan bu sırın yanında saydam ve renksiz olup metal oksitler katılarak renklendirilen sırlar da kullanılmıştır. Bakır oksit çok yaygın kullanılan bir renklendiricidir. Alkali sır ile türkuaz mavisi ve kurşunlu sır ile yeşil renk verir. Demir oksit (Fe_2O_3) ve kurşunlu sır ile sarıdan turuncuya değişen renkler elde edilir. Bunların yanında antimon ile sarı, kobalt ile koyu mavi ve mangan ile mor renkler elde edilmiştir. Sırlar genellikle çömlekçiler tarafından hazırlanmayıp bunu meslek edinmiş kişilerce yapılır. Gerekli maddeler iyice öğütülüp saydam bir cam oluşturacak biçimde eritilir ve su içine dökülerek tanecikler halinde parçalanması sağlanır. (Şekil – 5.35).



Şekil – 5.33: Fas'ın Fez kentinde bir çömlekçi fırını. [Al-Hassan ve Hill, s 165].



Şekil – 5.34: Bir İran çömlekçi fırını. Burada (C)'de yanan ateşin dumanı pişirilecek malzemenin içindan geçerek (A)'dan bacaya gider. [Al-Hassan ve Hill, s 166].

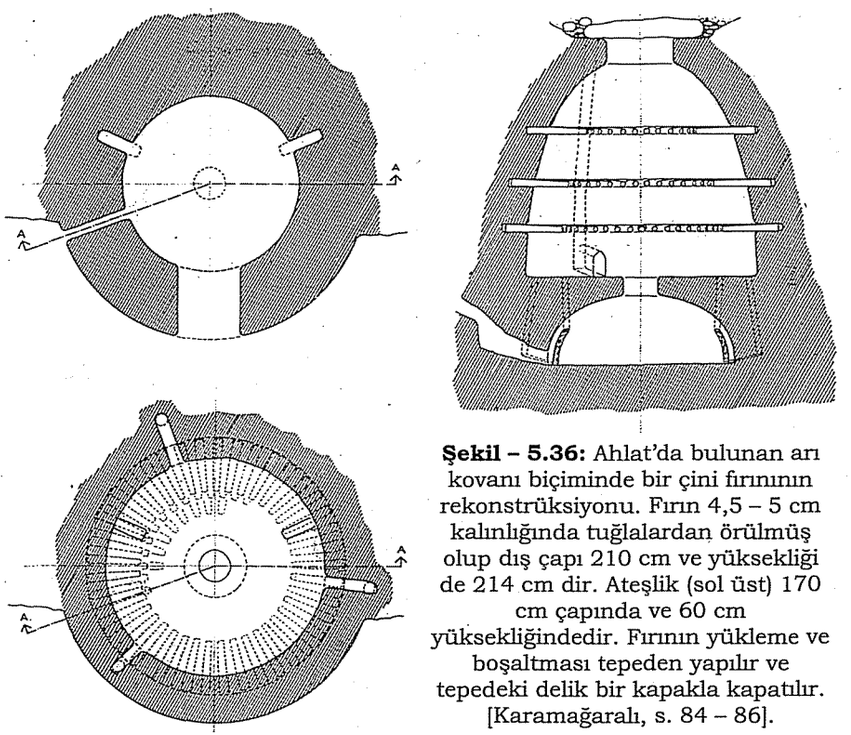


Şekil – 5.35: XVI. yüzyıla ilişkin bir yazma eserde bulunan sır hazırlama fırınının resmi. [Al-Hassan ve Hill, s 167].

ÇİNİCİLİK

Çini sözcüğünün aslı Osmanlıcada ***çînî*** olup Çin işi veya Çin ile ilgili anlamlarına gelmektedir. Çini duvar ve yer kaplaması olarak kullanılan yüzeyi renklendirilmiş ve sırlanmış kare, dikdörtgen veya altıgen biçimli seramik levhalardır. Çininin başlangıcı ve mimaride kullanımı eski Mezopotamya uygarlıklarında kullanılan sırlı ve renkli tuğlalara kadar geriye gider. Çininin bir Asya geleneği olduğu ve İslâm uygarlığı döneminde yaygınlaşmakla birlikte esas olarak Türkler tarafından geliştirilerek sürdürüldüğü

görülmektedir. Çini IX. yüzyıldan itibaren mimari yapılarda ve XI – XII. yüzyıllarda Horasan ve İran'daki Büyük Selçuklu dönemi yapılarında yer almaya başlayarak XIV. yüzyılda büyük gelişme göstermiştir. Anadolu Selçukluları döneminde de çini geleneği ve sanatı gelişerek varlığını sürdürmüştür.[2] (Şekil – 5.36).



Şekil – 5.36: Ahlat'da bulunan arı kovanı biçiminde bir çini fırınının rekonstrüksiyonu. Fırın 4,5 – 5 cm kalınlığında tuğlalardan örülmüş olup dış çapı 210 cm ve yüksekliği de 214 cm dir. Ateşlik (sol üst) 170 cm çapında ve 60 cm yüksekliğindedir. Fırının yükleme ve boşaltması tepeden yapılır ve tepedeki delik bir kapakla kapatılır. [Karamağaralı, s. 84 – 86].

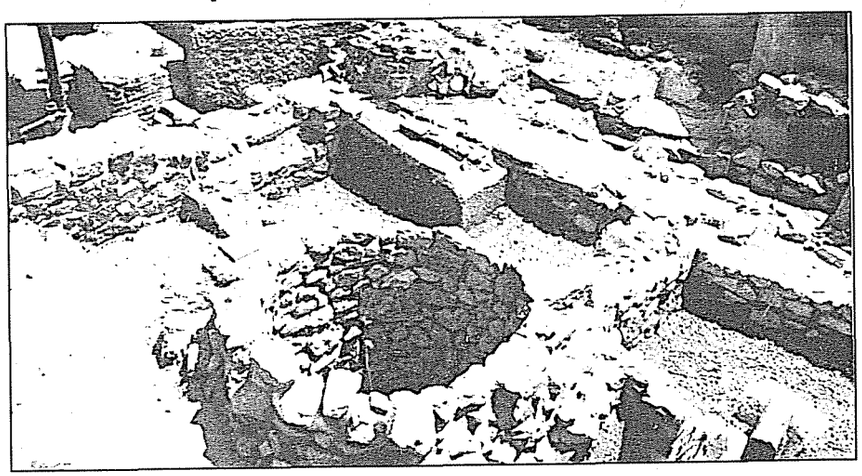
Çinicilik Osmanlı döneminde başlangıçtan itibaren büyük bir ilerleme göstermiş ve İznik önemli bir üretim merkezi olarak ortaya çıkmıştır. (Şekil – 5.37, 5.38 ve 5.39). Çini sanatı XVII. yüzyılın ilk yarısından itibaren teknik açıdan bir gerileme

---

2 Bu dönemdeki çinilerin hamuru beyaza yakın bir renkte olup % 85 – 90 silis (SiO_2), % 3 – 5 alümin (Al_2O_3), % 2 – 5 kireç (CaO) % ve 2 – 5 alkali içerdiği saptanmıştır. Kireç alkali tipinde sırlar kullanılmıştır. Tek renk için renkli sırlar ve çok renk için sır altı boyama tekniği uygulanmıştır. [Hadi Tamer, "Türk çinilerinin terkip ve tekniğine dair bazı tahlil, müşahede ve mukayeseler", *Milletlerarası Birinci Türk Sanatları Kongresi Tebliğleri*, Ankara 1962, s. 361 – 362].

dönemine girmiş, eski renkler soluklaşmış, akmalar ve sırlarda çatlamalar ortaya çıkmaya başlamıştır.

Şekil – 5.37: İznik çinilerinden örnekler.

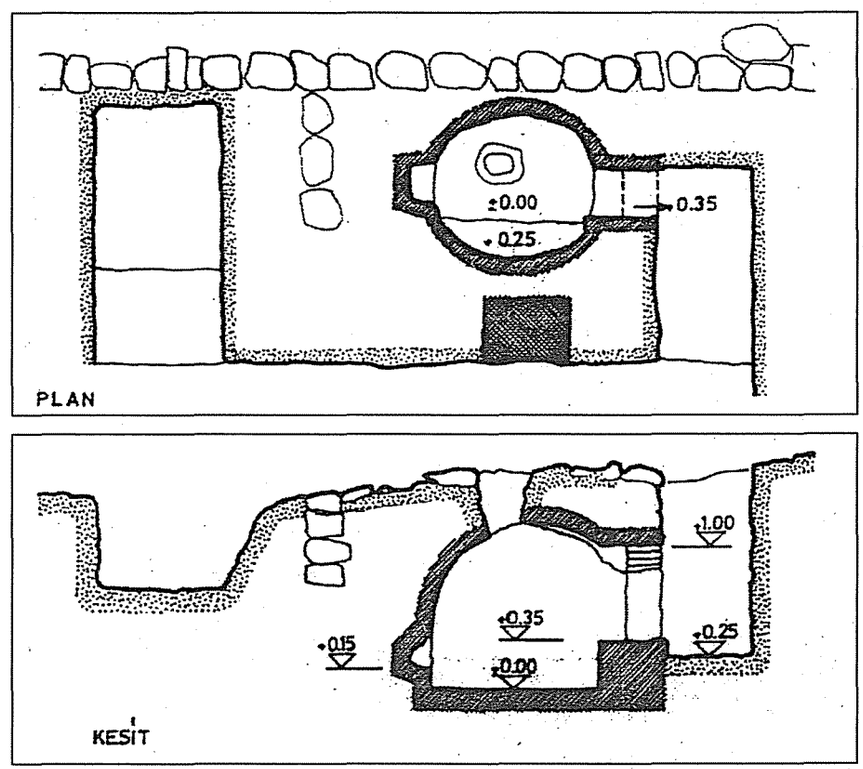


Şekil – 5.38: İznik'te yapılan kazılarda çıkan çini fırını kalıntıları.

Osmanlı dönemindeki İznik çinileri hamurlarının ve sırlarının özellikleri bakımından genel olarak iki döneme ayrılır.

1. Kırmızı hamur dönemi (1339 – 1548): Çini hamuru içinde beyaz kuvars tanecikleri içeren kırmızı bir hamurdur. Bağlayıcı olarak kurşun içermeyen kil ve kireç sırçası

kullanılmış olmakla birlikte yüzeydeki sırlarda büyük oranda kurşun vardır.[3] Kalay temelli bir sır üzerine yapılan boyama sırasında renklerin birbirine karışmaması için aralarına saydam olmayan siyah bir kontür çekilmiştir. Sarı antimon oksitten, lacivert kobalt oksitten, siyah kromitten, mor mangan oksitten ve beyaz da kalay oksitten elde edimiştir. Bunların yanında değişik renkler için karmaşık karışımlar da oluşturulmuştur. Bunların bileşimleri ustalar tarafından sır olarak saklandığından bazı renkler bir süre sonra kaybolmuştur.



Şekil – 5.39: Kazılarda açığa çıkartılan İznik çini fırınlarından birinin plan ve kesiti.

3 Selçuklu çinilerinin gerek bağlayıcı olarak hamurunda ve gerekse sırlarında kurşun bulunmamaktadır.

2. Beyaz hamur dönemi: Bu tür hamur XV. yüzyılın sonlarında ortaya çıkmaya başlamıştır. Hamurun rengi sarımsı beyaz olup dokusu çok ihce ve sıktır. Hem bağlayıcı olarak kullanılan sırçada ve hem de sırların bileşiminde bol miktarda kurşun vardır.

XVI. yüzyılda doruk noktasına çıkan İznik çiniciliğinin etkinliği XVII. yüzyılda giderek azalırken bunun yerini Kütahya çiniciliği almaya başlamış ve XVIII. yüzyılın başlarında İznik çiniciliği bütünüyle son bulmuştur. XVIII. yüzyılın başlarında 1724'de İznikten getirilen ustalar ile İstanbul'da Tekfur Sarayı'nda bir imalâthane kurulmuş ise de bunun da ömrü 25 yıl sürmüştür. XX. yüzyılın başlarında Kütahya çiniciliğinde yeniden bir canlanma ortaya çıkmıştır.

ORTAÇAĞ VE SONRASINDA ÇÖMLEKÇİLİK

Ortaçağ'da çömlekçilik

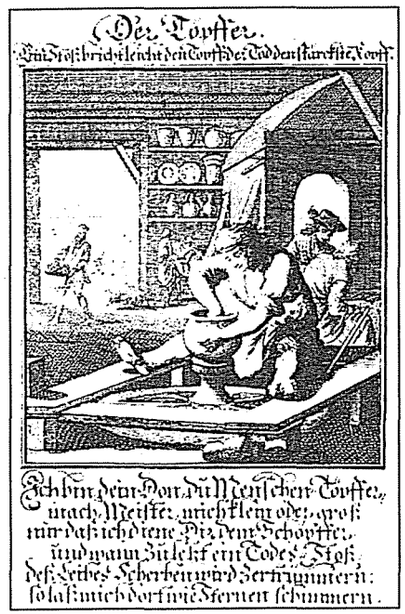
Teknolojik bir gelişme olmamakla birlikte Ortaçağ sonrasında bir yandan gündelik kullanıma yönelik eşya üretimi sürerken bir yandan da Çin porselenlerinin sırrının çözülmesi veya en azından taklitlerinin yapılması konusundaki çalışmalar başlamıştır. Aşağıda bu dönemdeki çömlekçilik konusunda çeşitli resimler verilmiştir. **(Şekil – 5.40 — 5.49).**

Şekil – 5.40: Elle ve ayakla çevrilen çömlekçi çarkları ile çalışan çömlekçiler ve pişirme fırını. (1540). [Biringuccio, s. 394].

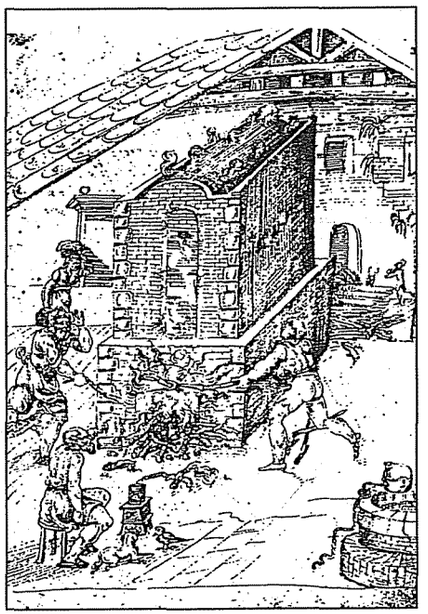
Şekil – 5.41: Çömlekçi çarkında çalışan bir kadın çömlekçi. (Güney Almanya veya Avusturya; 1453 – 1457). [Mämpel, s. 62].

Şekil – 5.42: Jost Amman'ın 1568'de yayınlanan *Ständebuch* adlı kitabında çömlekçi. [Amman, s. 90].

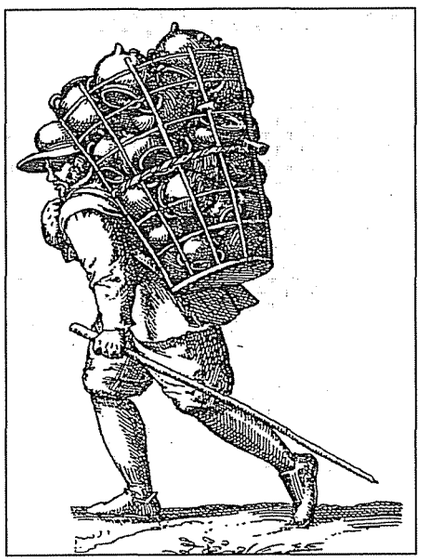
Şekil – 5.43: Sır yapımında kullanılacak maddelerin büyük havanlarda öğütülmesi. [Mämpel, s. 87].



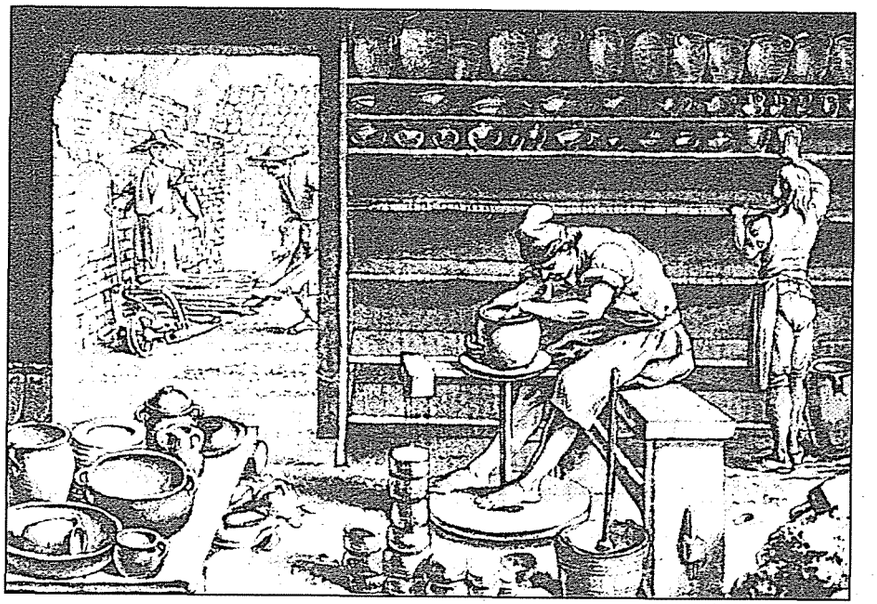
Şekil – 5.44: Christoph Weigel'ın 1698'de yayınlanan *Ständebuch* adlı kitabında çömlekçi. [Mämpel, s. 63].



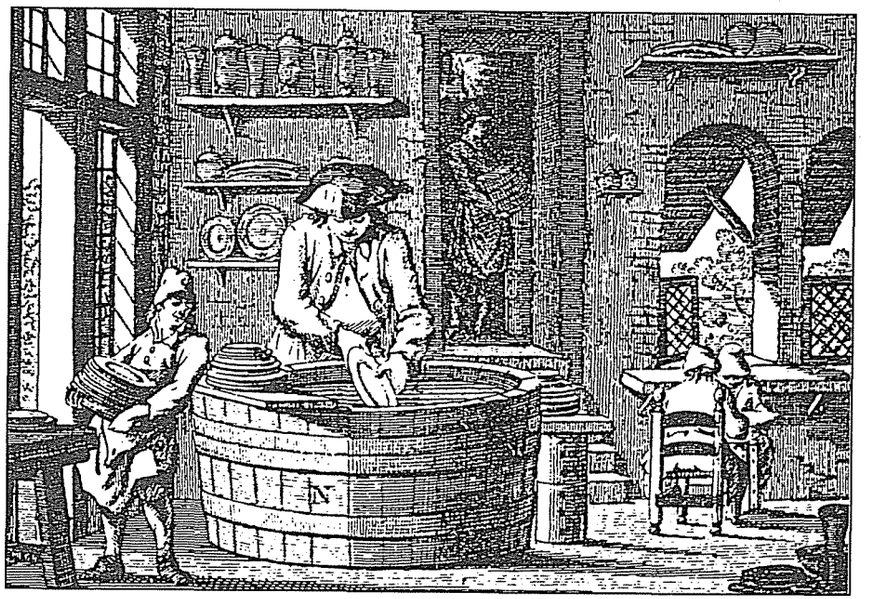
Şekil – 5.45: Cipriano Piccolpasso'ya (1524 – 1579) göre çömlekçi fırını. [Mämpel, s. 105].



Şekil – 5.46: Seyyar çömlek satıcısı. [Mämpel, s. 78].



Şekil – 5.47: Bir çömlek imalâthanesi. (1770). [Mämpel, s. 75].



Şekil – 5.48: Tabakların sır karışımına batırılması. [Mämpel, s. 75].

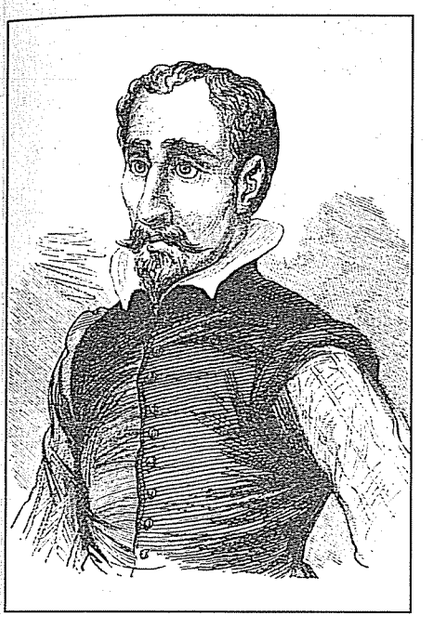
Şekil – 5.49: XVI. yüzyılda bir çömlekçi işyerinin görünümü. [Derry ve Williams, s. 92].

Bernard Palissy (1509 – 1590)

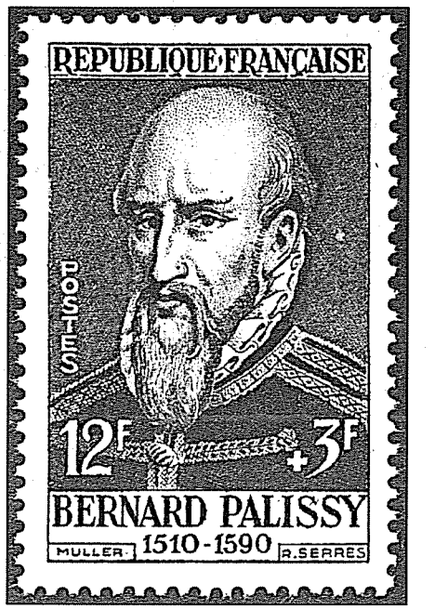
Fransız doğa bilimcisi ve çömlek yapımcısı Bernard Palissy (1509 – 1589)[4] (Şekil – 5.50 ve 5.51) 1539'da Çin

4 *Bernard Palissy (1509 – 1590):* Doğum yeri kesin olarak bilinmemektedir. Yaşamının büyük bir bölümünü Batı Fransa'daki Saintonge'da geçirdi. Klasik dilleri öğreneceği bir eğitimden geçmediği için bir cam boyacısına çırak oldu ve uygulamalı bilimlerle ilgilenmeye başladı. Fransa, Hollanda Almanya'nın Rhine bölgesi ve İtalya'yı dolaştı. Geri dönüşünde 1539'da Çin porselenlerinin benzerini üretmek için çalışmalara başladı. 1542'de Montmorency Dükü'nün hizmetine girerek şatoları süslemeye başladı. 1546'da Protestan oldu ve 1548'de Paris'e gitti. Protestan olması nedeniyle 1562'de fırınları ve işyeri tahrip edildi. Ertesi yıl kralın hizmetine girdi ve 1572'deki Saint Bartholemew katliamından kurtuldu. Doğa tarihi üzerine konferanslar vermeye başladı ve bunları 1580'de yayınladı. Fosillerin oluşumu konusunda günümüzde de geçerli olan

porselenlerinin sırrını çözmek veya taklitlerini yapmak konusunda çalışmalara başladı. On altı yıl süren çalışmaları sırasında porselen üretmeyi başaramadı fakat kendine özgü formları olan ve kendi adıyla anılan seramikler üretti. Amacına ulaşmak için büyük bir tutku ile çalışırken pişirme sırasında odun bitince pişirmeyi kesmemek için evinin eşyalarını ve yer döşememerini dahi yakmıştır. (Şekil – 5.52, 5.53 ve 5.54).



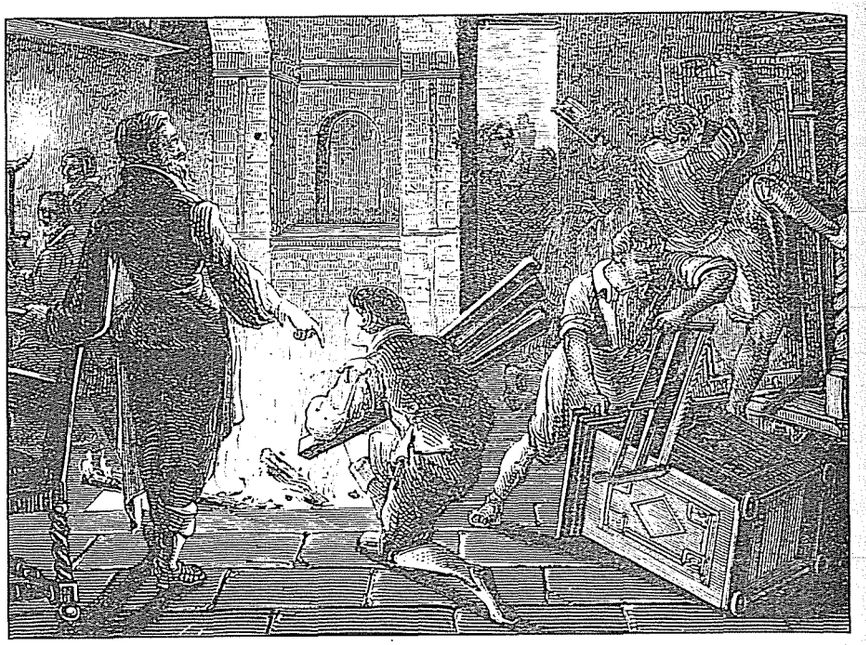
Şekil – 5.50: Bernard Palissy. (1509 – 1590).



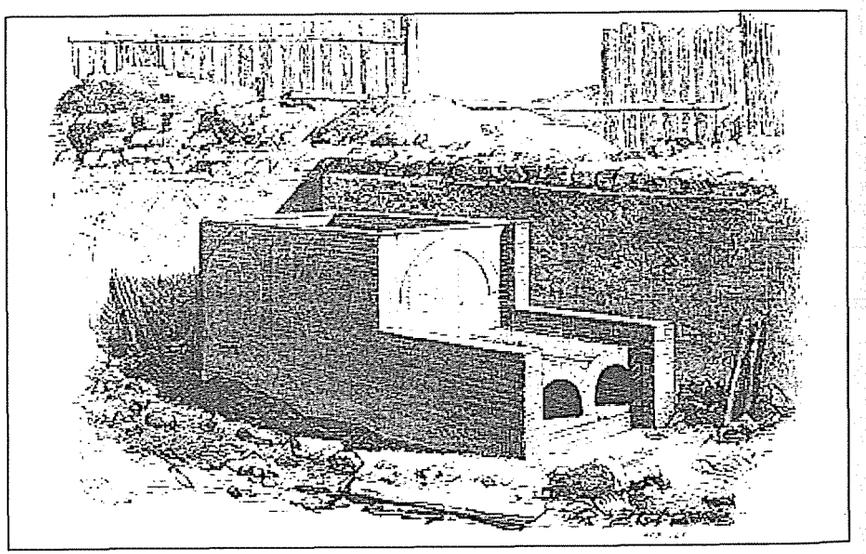
Şekil – 5.51: Palissy'nin ölümünün 400. yılında çıkartılmış Fransız posta pulu.

Şekil – 5.52: Bernard Palissy'nin kendine özgü "rustik" desenli ve oval tabaklarından bir örnek.

görüşleri ortaya koydu. Protestanlıktan vazgeçmeyi kabul etmediğinden Bastille hapishanesine atıldı ve 80 yaşındayken burada öldü.



Şekil – 5.53: Bernard Palissy odunların tükenmesi üzerine evinin eşyalarını parçalatıp yaktırırken. [Figuier, s. 109].



Şekil – 5.54: Bernard Palissy'nin seramik fırını.

ÇİN PORSELENİNİN AVRUPA'DA YENİDEN KEŞFİ

Avrupa'da XVII. yüzyıldan itibaren ünlü ve pahalı Çin porselenlerine olan talebin giderek artması karşısında özellikle XVIII. yüzyılda Çin porselenlerinin üretimindeki sırrın çözülmasi konusundaki çalışmalar büyük bir hız kazanmıştır. Bunun yanında bir başka hedef de gelişen Sanayi Devrimi'nin mantığına uygun olarak ucuz ve kütlesel üretim yapılmasıdır. Saksonya'da elkimyacı olan Johann Friedrich Böttger (1682 – 1719)[5] (Şekil – 5.55 ve 5.56) porselen üretimi ile ilgilenerek Erzgebirge'de gerekli porselen kilini (kaolin) bulup fırınları da 1300 – 1400 °C sıcaklık elde edebilecek biçimde geliştirerek 1708'de Avrupa'da ilk kez porselen üretmeyi başarmıştır.

Şekil – 5.55: Johann Friedrich Böttger. (1682 – 1719).

Şekil – 5.56: Böttger'in 300. doğum yıldönümü dolayısıyla 1982'de Almanya'da çıkarılan posta pulu

Böttger Meissen'de bir fabrika kurarak 1710'dan itibaren giderek ün kazanan Dresden porselenlerini üretmeye

---

5 *Johann Friedrich Böttger (1682 – 1719):* Magdeburg'daki öğreniminin ardından 1700'de Berlin'de değersiz metalleri altına dönüştürmeye uğraşan eczacı ve elkimyacı F. Zahn'a çırak oldu. Bu konuda bazı çalışmalar yaptıktan sonra 1702'de Dresden'e giderek Saksonya Elektörü ve Polonya Kralı II. August'un hizmetine girdi. Burada krala hizmet eden Ehrenfried Walther von Tschirnhaus (1651 – 1708) ile birlikte çalışmaya başladı. Madencilerin de yardımıyla Schneeberg'de çok iyi saf beyaz kil bulundu ve porselen üretmeyi başardı. [Day ve McNeil, s. 85 – 86].

başlamıştır. Meissen fabrikasında çalışan Samuel Stölzel Viyana'ya kaçarak porselen yapımının sırrını buraya taşımıştır.

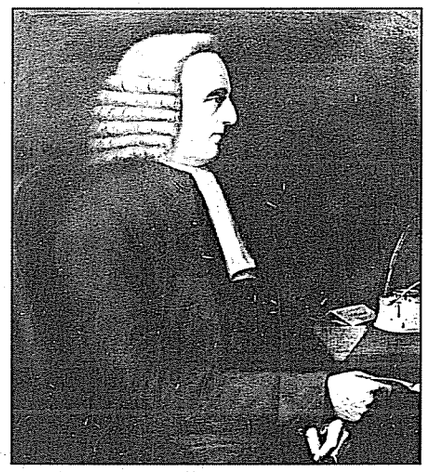
Fransa'da Sèvres'de bulunan seramik fabrikalarının başına ünlü kimyacı Pierre Joseph Macquer (1718 – 1784) (Şekil – 5.57) baş kimyager olarak getirilmiştir. Modern kimyanın kurucularından biri olan ve teorik kimya kadar kimyanın uygulama alanları ile de ilgilenen Macquer 1768'de Çin porselenlerinin sırrını çözerek daha sonra büyük ün kazanacak olan Sèvres porselenlerini üretmeye başlamıştır. Aynı yıl Macquer'den bağımsız olarak İngiltere"de eczacı ve kimyacı William Cookworthy (1705 – 1780)[6] (Şekil – 5.58) Plymouth'da çalışarak Cornwall'da bulduğu kil ve porselen taşını kullanarak İngiltere'de ilk kez porselen üretmiş ve 1868'de patentini almıştır. Daha sonra bir fabrika kurarak üretime geçmiştir. İngiltere'de Josiah Wedgwood (1730 –1795)[7] (Şekil – 5.59) gelişen Sanayi Devrimi çerçevesinde porselen yapımını bir sanayi dalı haline getiren kişidir. Bir yandan kaliteyi arttırıp öte yandan da maliyetleri düşürüp gezici pazarlayıcılar, resimli kataloglar, geri ödeme garantisi,

6 *William Cookworthy (1705 – 1780):* Londra'da bir eczacının yanına çırak olarak girdi ve daha sonra 1736'da kardeşi ile birlikte kendi işini kurarak Plymouth'da ilâç ticaretine başladı. Amerika'dan Georgia'lı yumuşak hamur porselen üreticisi Andrew Duché'nin ziyaretinin ardından 1745'de bu işi bırakarak porselen üretimi ile ilgilenmeye başladı. Kısa bir süre sonra Cornwall'daki St. Austell'de porselen kili (kaolin) ve porselen taşı (petuntse) kaynakları bulundu. Bu malzemeleri kullanarak uzun yıllar süren deneyleri sonucunda Çin porselenin sırrını çözerek 1768'de 99 yıl geçerli bir patent aldı ve Plymouth'da bir porselen fabrikası kurdu. Dana sonra fabrikasını Bristol yakınlarına taşıdı. [Day ve McNeil, s. 165 – 166].

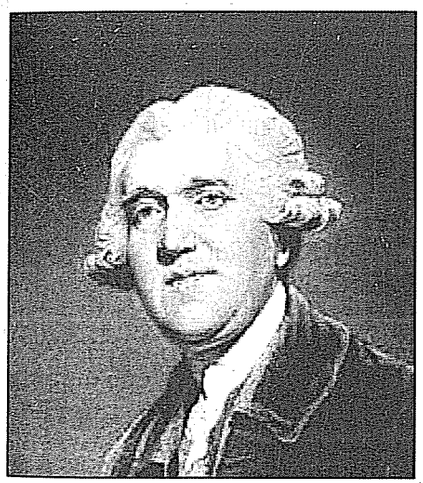
7 *Josiah Wedgwood (1730 – 1795):* Bir çömlekçi babanin en küçük oğlu olarak doğdu ve dokuz yaşında iken ailenin Staffordshire'de Burslem'de bulunan işletmesinde çömlekçi çarkının başına geçti. Geçirdiği çiçek hastalığı sağ dizinin sakatlanmasına neden oldu. Bundan sonra çömlekçi çarkında çalışamadığından daha çok teorik konular üzerine yoğunlaştı. Bir rastlantı sonucu 1762'de karşılaştığı dönemin ünlü kimyacısı Joseph Priestley'in tavsiyesi üzerine yeni gelişen kimya ile ilgilenmeye başladı ve kimyadan daha iyi üretim için yararlandı. 1754'de tanınmış çömlekçi Thomas Whieldon ile ve 1768 – 1780 arasında da Thomas Bentley ile ortak olarak çalışmalarını sürdürdü. Josiah Wedgwood annesi tarafından ünlü bilim adamı Charles Darwin'in ve oğlu tarafından da eşi Emma'nın dedesidir. [Day ve McNeil, s. 745].

postayla gönderme, Londra'da showwroom ve bir alana bir bedava sloganı gibi gününe göre modern pazarlama yöntemleri kullanarak yeni gelişmekte olan orta sınıfların tüketim talebini karşılamış ve kıta Avrupa'sı ile Amerika'ya da ihracat yapmıştır.

Şekil – 5.57: Pierre Joseph Macquer. (1718 – 1784).



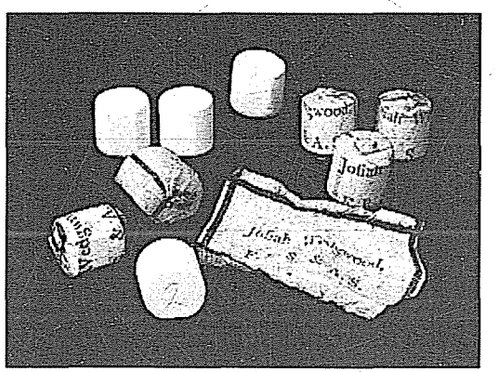
Şekil – 5.58: William Cookworthy. (1705 – 1780).



Şekil – 5.59: Josiah Wedgwood. (1730 –1795).

Josiah Wedgwood 1759'da Etruria yakınında Burslem'de kendi işini kurduktan sonra 4 kısım çakmaktaşı (kuvars) ve 20

– 24 kısım beyaz kil (kaolin) içeren yeşil renkli sırlı kaplar üretmiştir. Bunu 1775'de kırmızı porselenler izlemiştir. Bunların her ikisi de çok popüler olmuştur. Bu fabrika 1940 yılına kadar çalışmış ve daha sonra başka yere taşınmıştır. Wedgwood'un önemli katkılarından biri fırınların sıcaklıklarını ölçmek için geliştirdiği ve kendi adıyla anılan pirometredir. Bunlar belirli bir sıcaklıkta yumuşayarak şekil değiştiren standart büyüklükte porselen kili ve alümin karışımından yapılmış küçük silindirlerdir. (Şekil – 5.60). Geçmişte pişirme fırınlarının gerekli sıcaklığa ulaşıp ulaşmadığı ustalar tarafından gözle bakarak belirlenirken pirometre ile standart bir biçime gelmiştir. Standart bir sıcaklıkta pişirmenin ürünün kalitesi üzerine önemli etkileri söz konusudur.

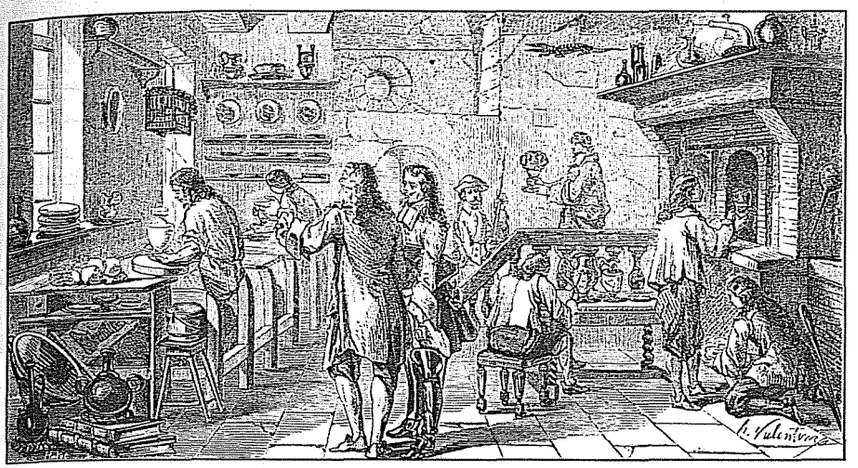


Şekil – 5.60: Wedgwood'un pirometre silindirleri.

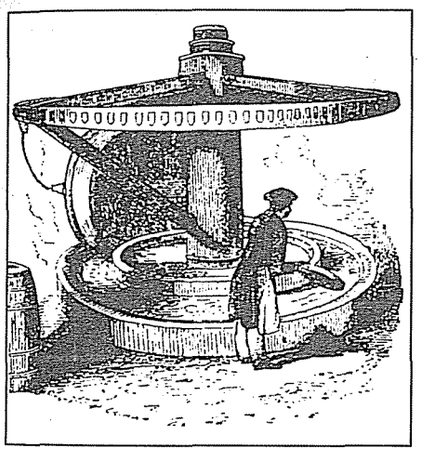
XVIII. VE XIX. YÜZYILLARDA SERAMİK YAPIMI

Seramik üretimi Sanayi Devrimi'nin gelişimine paralel olarak XVIII. yüzyılın ikinci yarısından itibaren imalâthaneden fabrikaya dönüşüm sürecine girmiştir Bu süreçte biçimlendirmede çömlekçi çarkı yerini korumakla birlikte hammaddelerin öğütülmesine ilişkin öğütücü ve değirmenler, hamur karıştırıcılar ve en önemlisi pişirmede kullanılan fırınlar konusunda önemli gelişmeler ortaya çıkmıştır. Bu kapsamda İngiltere'de ortaya çıkan ve biçimleri nedeniyle *bottle kiln* [şişe fırın] olarak anılan fırınlar ile kita Avrupa'sı **ve** özellikle Almanya'da ortaya çıkan hem seramik ve hem de tuğla üretiminde kullanılan sürekli çalışan halka fırınlar önem kazanmıştır. Bunların yanında fırın sıcaklıklarının

ölçülmesinde pirometre kullanımı yaygınlaşmış, sırlama bileşim ve tekniklerinin gelişiminde kimya bilgisi etkili olmaya başlamıştır Aşağıda (Şekil – 5.61 — 5.80)'de XIX. yüzyıldaki seramik üretiminin gelişim konusunda örnekler verilmiştir.

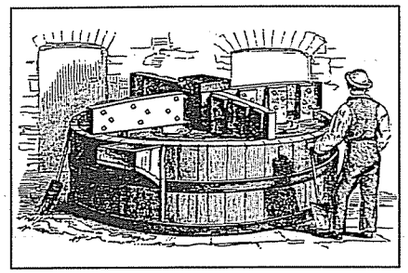


Şekil – 5.61: XIX. yüzyıl başlarında Fransa'da bir seramik imalâthanesi. [Figiuer, s. 113].

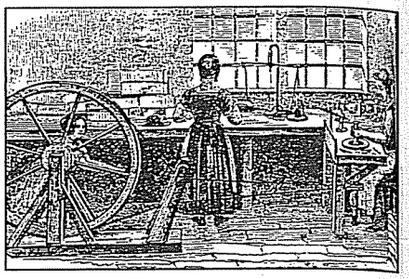


Şekil – 5.62: Çakmaktaşı (kuvars) ve kil öğütmek için taşlı değirmen. [Derry ve Williams, s. 585].

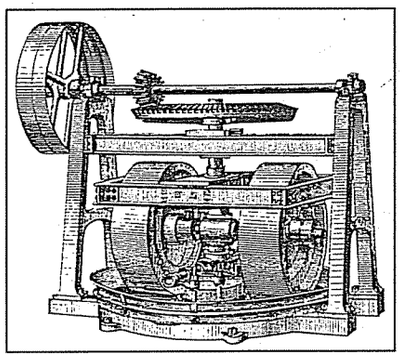
Şekil – 5.63: Çakmaktaşının (kuvars) öğütülmesi. [Cossons, s. 165].



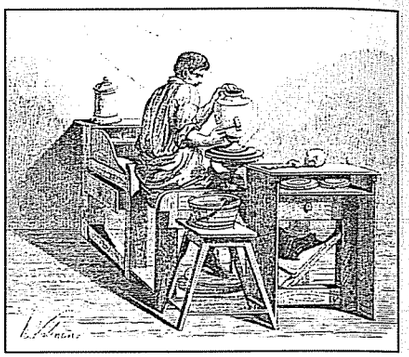
Şekil – 5.64: Hamur karıştırma teknesi. [Cossons, s. 165].



Şekil – 5.65: Ayrı bir çarkla çevrilen çömlekçi çarkı ve çalışan kadınlar. Cossons, s. 166].



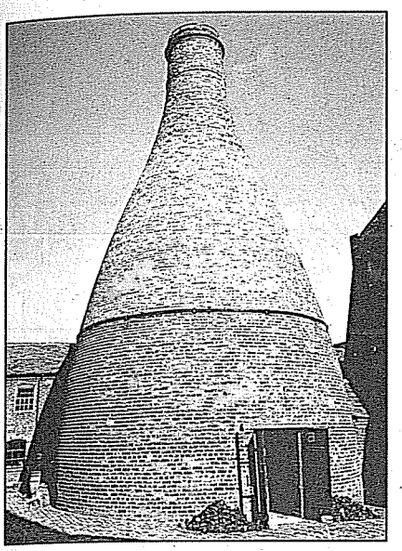
Şekil – 5.66: Malzeme öğütmede kullanılan kollergang tipi değirmen. (1894). [Mämpel, s. 184].

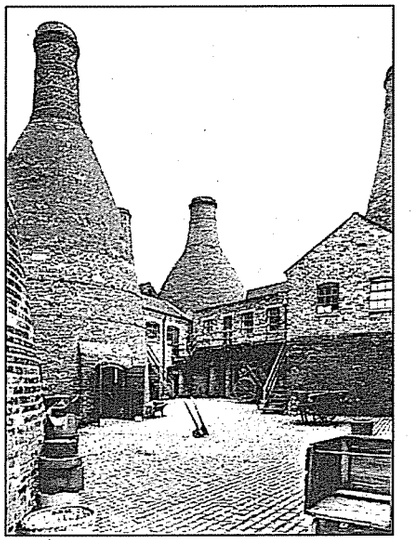


Şekil – 5.67: Çömlekçi çarkında çalışma. [Figuier, s. 117]

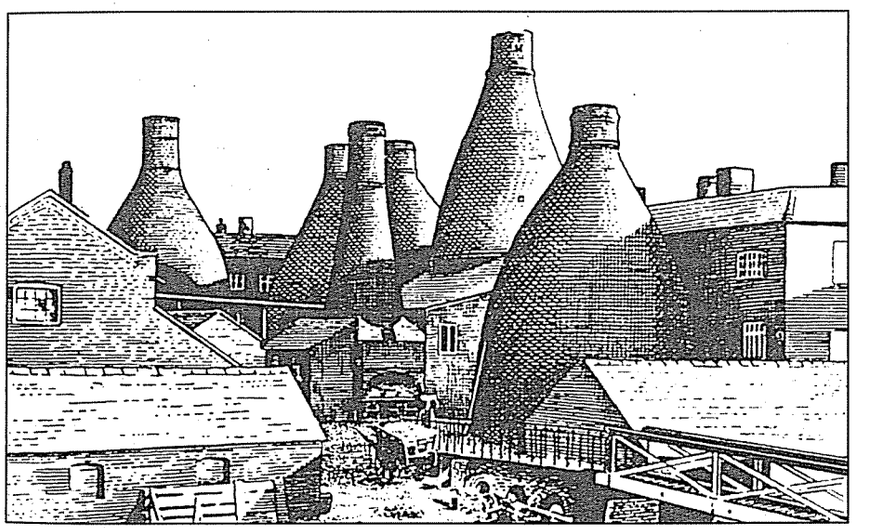
Şekil – 5.68: Seramik malzemenin birinci pişirmeden sonra sır çözeltisine batırılması. [Derry ve Williams, sb 587].

Şekil – 5.69: Düz tabakların kalıpla üretilmesi. (1814). [Derry ve Willims, s. 588].

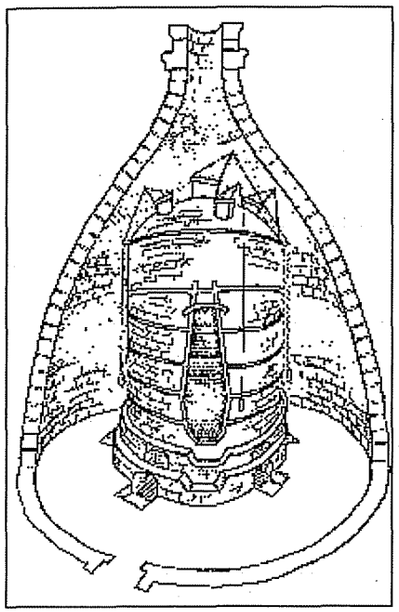




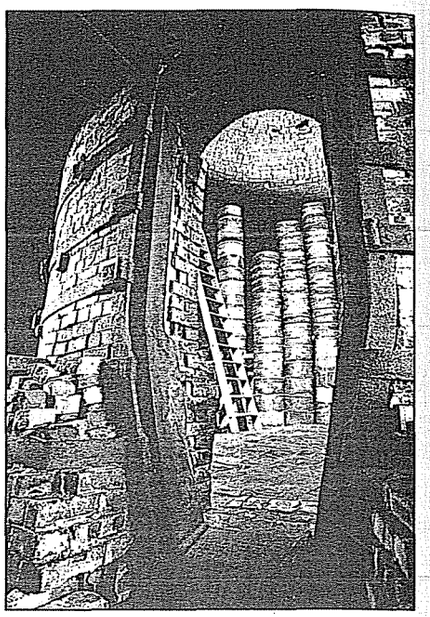
Şekil – 5.70: XIX. yüzyıl başlarında ortaya çıkan ve biçimleri nedeniyle "bottle kiln" (şişe fırın) olarak adlandırılan seramik fırınlarının genel görünümü. Seramik üretiminde 1 kg kil başına yakıt olarak 2,5 kg kömür kullanılması nedeniyle seramik üreticileri kömürün ucuz olduğu bölgelerde toplanmışlardır. [Palmer ve Neaverson, s. 47].



Şekil – 5.71: Bir seramik üretim bölgesinin genel grünümü. [Derry ve Williams, s. 591].

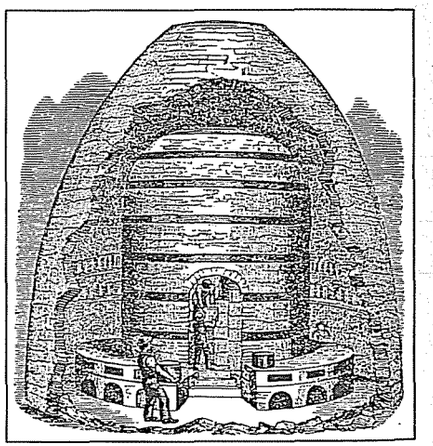


Şekil – 5.72: Bir şişe fırının dış koruması ve içindeki asıl fırının görünümü.

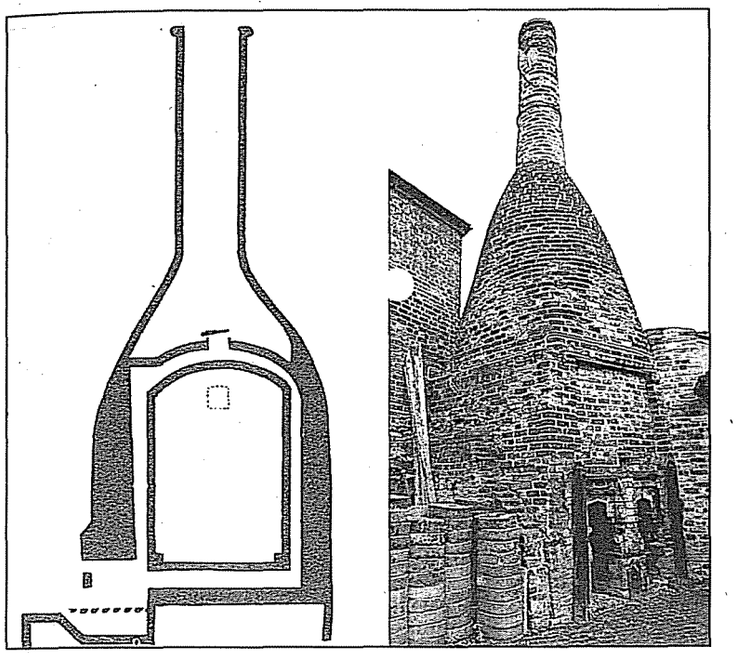


Şekil – 5.73: Bir şişe fırının içine pişmiş toprak kaplar içinde yerleştirilmiş seramikler. [Cossons, s. 167].

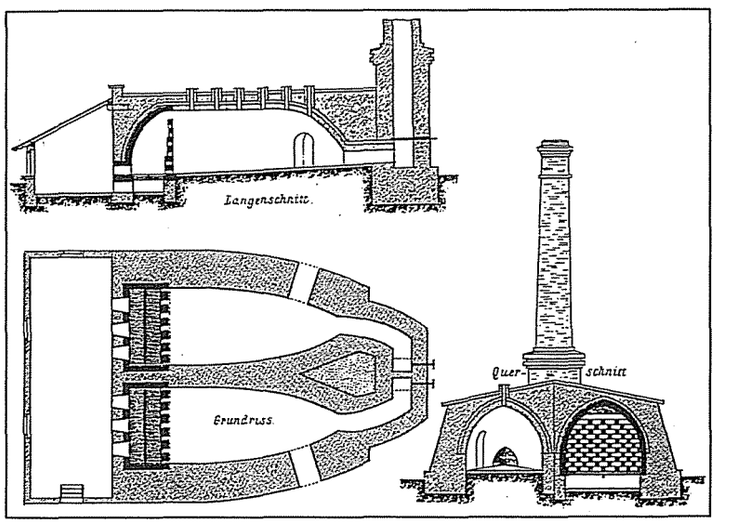
Şekil – 5.74: Bir şişe fırının doldurulusu. [Derry ve Williams, s. 586].



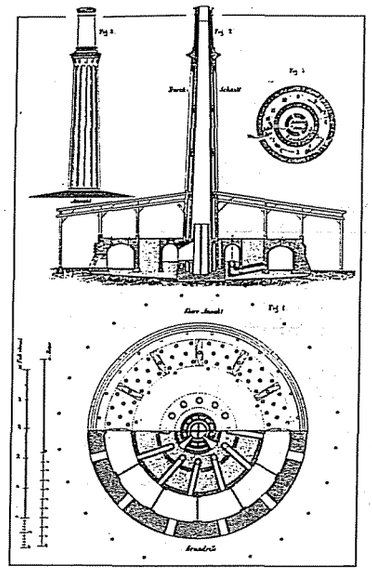
Şekil – 5.75: Bir şişe fırının içi. [Cossons, s. 168].



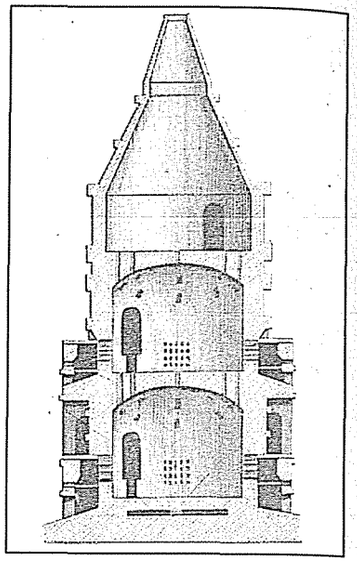
Şekil – 5.76: Farklı tipte bir şişe fırının kesiti ve genel görünümü.



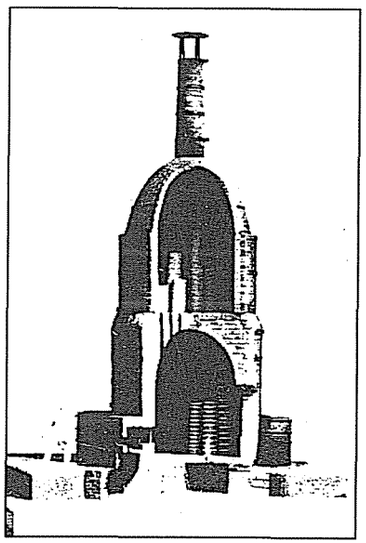
Şekil – 5.77: Karl Anton Henschel (1780 – 1861) tarafından 1827'de yapılan pişirme fırını. [Mämpel, s. 191].

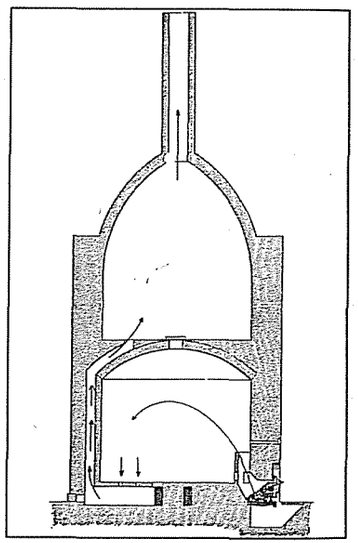


Şekil – 5.78: Tuğla yapımcısı Friedrich Hoffmann tarafından 1856'da patenti alınan sürekli çalışan halka fırın. [Mämpel, s. 193].



Şekil – 5.79: Fransa'da Sèvres'de kullanılan üç katlı porselen fırını. (1860). [Figuier, s. 119].

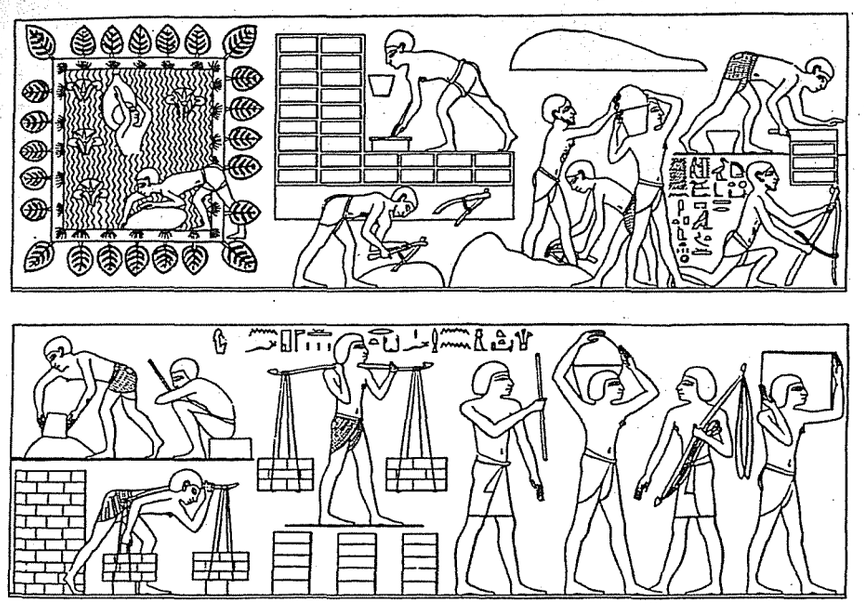




Şekil – 5.80: Fransa'da Sèvres'de kullanılan iki katlı porselen fırını. (1879). [Mämpel, s. 188 – 189].

TUĞLA, KİREMİT VE KİREÇ

Çömlekçilik tuğla yapımının yolunu açmıştır. Önceleri duvar örmek için güneşte kurutulmuş kerpiç blokları kullanılmıştır. Kerpiçin dayanımı fazla olmadığından bununla yüksek duvarların örülmesi mümkün olmadığı gibi suya ve yağmura karşı da dayanıklı değildir. Çömlekçilikten edinilen deneyim ile kerpiçlerin pişirilmesi yoluyla tuğla elde edilmiştir. Pişmiş tuğla elde edilmesi eski Mısır ve Mazopotamya uygarlıklarında başlamıştır. Mezopotamya'da üzeri renkli ve camsı sırlarla kaplı sırlı tuğlalar da üretilmiş ve anıtsal yapılarda kullanılmıştır. (Şekil – 5.81). Pişmiş tuğla üretimini çatıları örtmede kullanılan kiremit izlemiştir. Tuğla ve kiremit inşaat teknolojisinde devrim yaratmıştır.

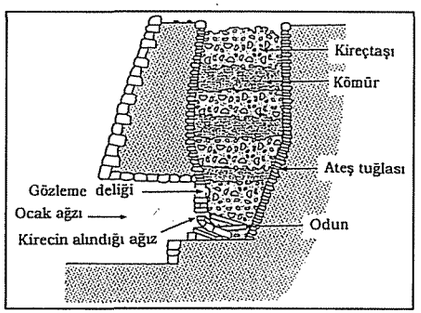


Şekil – 5.81: Eski Mısır'da tuğla üretimini gösteren bir duvar resmi. (İ.Ö. 1450). [Mämpel, s. 159].

Tuğla duvarların örülmesinde başlangıçta harç olarak çamur kullanılırken daha sonra bunun yerini kireç ve kum karışımından oluşan kireç harcı almıştır. Kireç taşının [kalsiyum karbonat, $CaCO_3$] ısıtılarak sönmemiş kirece [CaO]

dönüştürülmesi için kireç ocakları geliştirilmiştir. (Şekil – 5.82). Önceleri kireç taşından örülmüş ocaklarda odun yakılarak kireç elde edilmiştir. Ocağın iç bölümündeki kireç taşı sıcaklığın etkisiyle kirece dönüşürken dış kısımdaki kireç taşları da fırın görevini görerek ısıyı korur. Daha sonraları içi ateşe dayanıklı tuğla ile döşenmiş ocaklar ve yakıt olarak da kömür kullanılmaya başlanmıştır. (Şekil – 5.83).

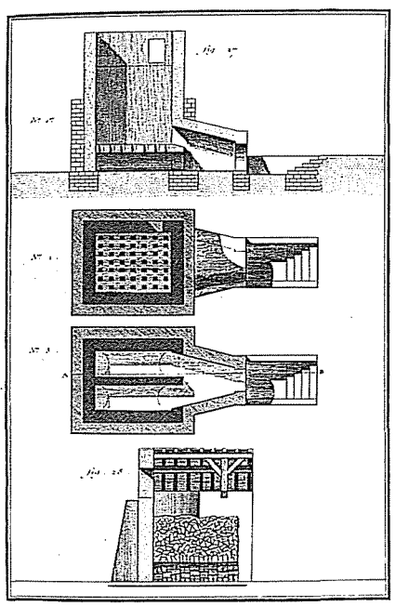
Şekil – 5.82: XVI, yüzyılda tuğla ve kireç fırınları. [Biringuccio, s. 400].



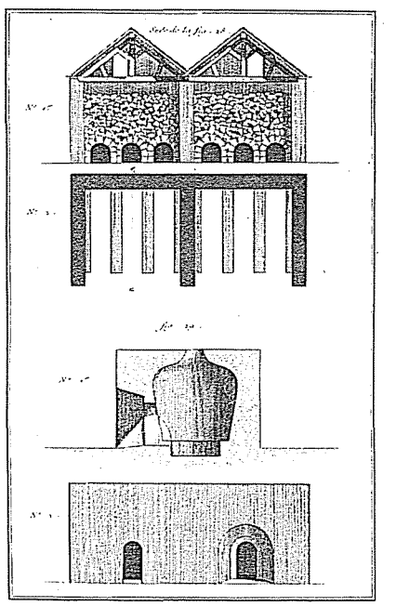
Şekil – 5.83: Kireç ocağı. Bir yamaca yapılmış ocağın içine kireçtaşı ve kömür katmanlar biçiminde yerleştirilir ve alttan odun yakılarak tutuşturulur. Daha eski yöntem kömür kullanmadan doğrudan doğruya odun yakılarak kireç elde edilmesine dayanır.

XVIII. yüzyılda tuğla, kiremit ve yer karolarının üretimi ve fırınlanması ile kireç ve alçı elde edilmesine ilişkin fırınlar Diderot'nun *Encyclopédie*'sine göre (Şekil – 5.84 — 5.90)'da verilmiştir.

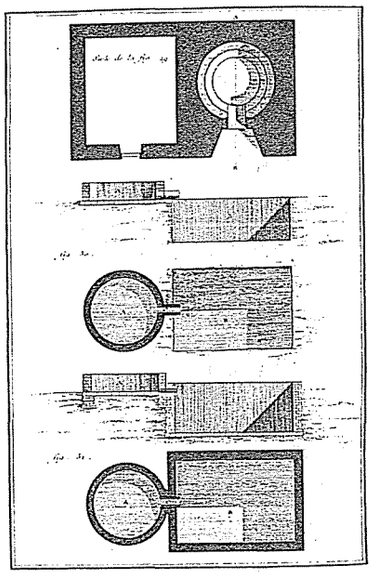
Şekil – 5.84: Tuğla yapımcisi ve arkada sağda tuğla fırını görülmektedir. (1568). [Amman, s 94].



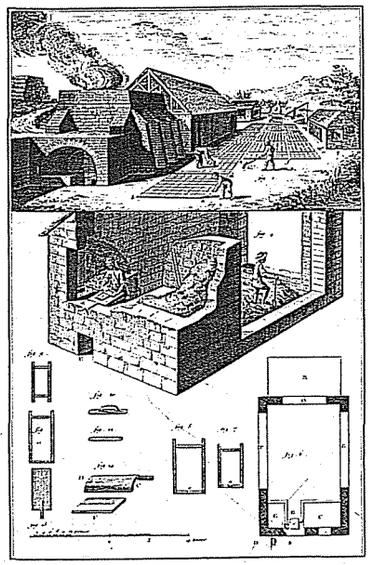
Şekil – 5.85: Üstte bir tuğla – kiremit fırınının kesiti ve planları ile altta bir alçı fırınını boyuna kesiti.



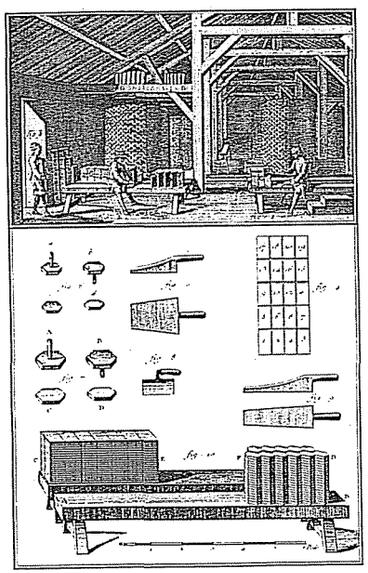
Şekil – 5.86: Üstte alçı fırınının enine kesiti ve altta bir kireç fırınının boyuna kesiti ile önden görünüşü.



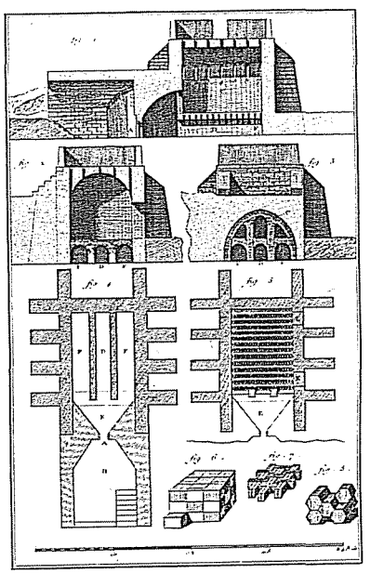
Şekil – 5.87: Üstte kireç fırınının planı ve altta kireç söndürme havuzlarının kesit ve planları.



Şekil – 5.88: Yer karosu ve kiremit üretimi.

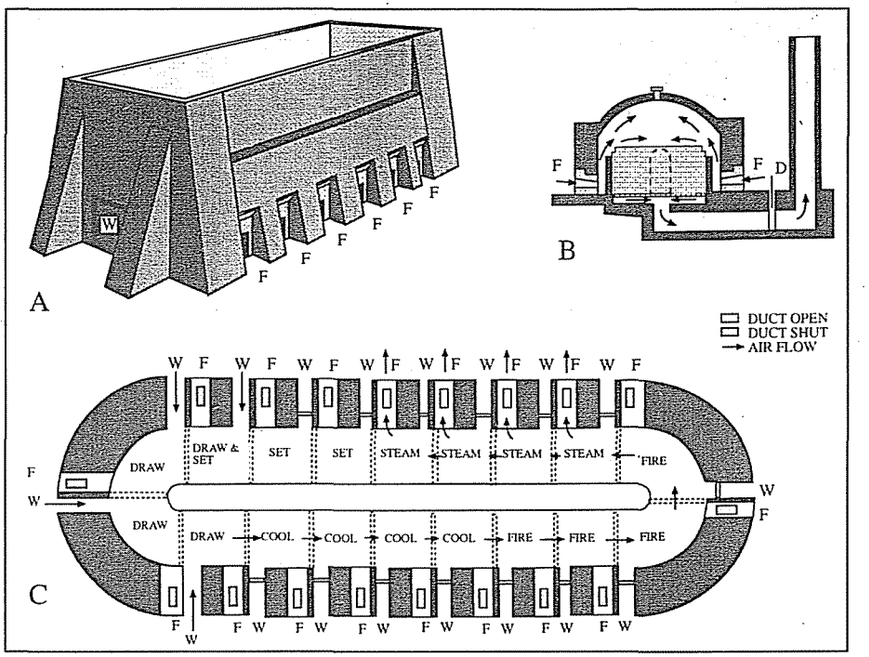


Şekil – 5.89: Altıgen biçimli yer karolarının kesimi.

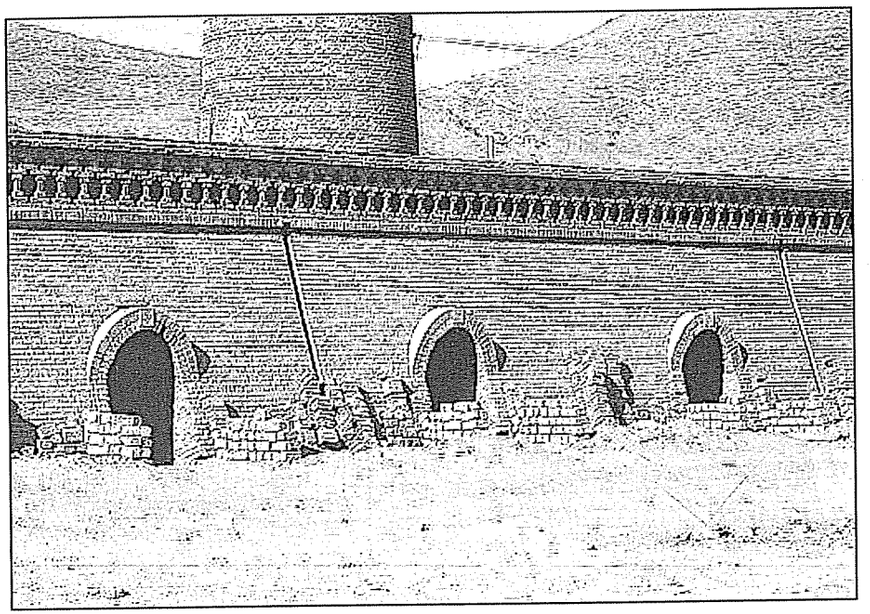


Şekil – 5.90: Bir tuğla – kiremit fırınının kesit ve planları ile istiflenmesi.

XIX. yüzyılın ikinci yarısından itibaren gelişen inşaat sektörü dolayısı ile nitelikli tuğla ve kiremit talebi giderek artmıştır. Hoffmann tipi sürekli çalışan fırınlar yanmada kullanılan havanın pişmiş tuğlaları içeren bir önceki bölmeden geçerken bir yandan ısınıp bir yandan da pişmiş tuğlaları soğutması ve sıcak yanma gazlarının da bir sonraki bölümlerdeki tuğlaları kurutması açısından yakıt tasarrufu sağlayarak maliyeti düşürmüştür. (Şekil – 5.91 ve 5.92).



Şekil – 5.91: Çeşitli tipte tuğla fırınları. (A) Üstü açık dikdörtgen biçiminde tuğla fırını. Her iki uçtaki (W) kapıları fırını yüklemek ve boşaltmak için kullanılır. Fırının yanlarında ocaklar (F) bulunur. Önce üç gün yavaş ateşte tuğlaların kuruması sağlanır ve bunun ardından ateş şiddetlendirilerek 2 – 3 gün pişirilir. Pişirmenin ardından 7 – 10 gün soğuma için beklenir ve fırın boşaltılır. (B) Daha küçük ve arı kovanı biçiminde tuğla fırını. Daha kolay denetlenebildiğinden kaliteli tuğla üretimi için kullanılır. (C) Hoffmann sürekli fırınının planı. Fırın birbirinden kısmi bölmeler ile ayrılmış bir dizi odadan oluşur ve her odanın kapısı (W) ve ocağı (F) vardır. Odalar sırayla ateşenir. Bacanın çekiş etkisiyle soğuk hava daha önceki odaladaki pişmiş tuğlalar üzerinden geçerken ısınır ve bu da fırının etkinliğini arttırır. Sıcak yanma gazları ise bir sonraki odadaki tuğlaları kurutur.
[Palmer ve Neaverson, s. 46].



Şekil – 1.92: Sürekli çalışan Hoffmann tipi bir tuğla fırınının yandan görünüşü.

BÖLÜM – 6

BAKIR VE TUNÇ

MADENCİLİK VE METALURJİ

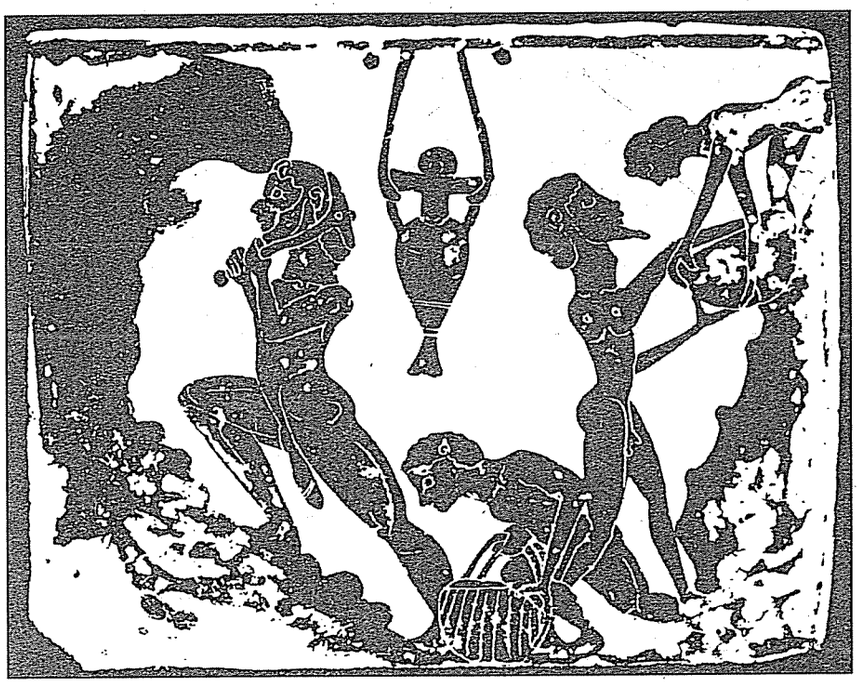
Madencilik ve metalurji

Metalurji, metallerin doğada bulunan bileşiklerinden elde edilmesi, saflaştırılması ve alaşımlarının yapılmasını kapsayan bir sanayi dalıdır. Belirli bir kimyasal formüle, kendine özgü fiziksel özelliklere ve kristal yapıya sahip ve yerkabuğunun doğal bileşenlerinden olan maddelere *mineral* adı verilir. Yerkabuğunun çeşitli bölgelerinde iç ve dış etkenler sonucu oluşmuş ve ekonomik açıdan değer taşıyan mineral bileşimlerine *maden*, doğrudan doğruya veya zenginleştirilerek sanayide kullanılabilen ve ekonomik değeri bulunan bir veya birkaç mineralden oluşmuş kayaçlara da *cevher* adı verilir. Madencilik maden yataklarının aranması, işletilmesi yani madenlerin yeryüzüne çıkartılması ve zenginleştirilmesi işlemlerini kapsar. Başlangıçta madencilik ve metalurji aynı kişilerin uzmanlık alanlarına giren işlemler olduğu halde zaman içinde bunlar birbirinden ayrılmıştır. (Şekil – 6.1).

Metalurjinin doğuşu

Altın doğada her zaman metalik halde bulunduğu gibi gümüş ve bakır da metalik halde bulunabilir. Bunların yanında uzaydan gelmiş meteorit kaynaklı metalik demir de vardır. İnsanlar öncelikle yer yüzeyinde bulunan bu metalleri toplayıp işlemeye başlamışlardır. Bir süre sonra bunların tükenmesi sonucunda metalurji ortaya çıkmıştır. Metalurji en eski uzmanlık dallarından birini oluşturur. Metal işçiliği her zaman tam gün süreli çalışmayı gerektiren bir uzmanlık dalı olmuştur. Bu işlerin tarım işlerinin yanında evde yapılabilmesi

olanaksızdır. Besin üretimi ile uğraşmayan bir metalurji uzmanı ancak çiftçilerin gereksinimlerini aşan üretim artığı ile geçinebilir. Bu nedenle metallerin kullanımı ve metalurjinin bir uzmanlık dalı olarak ortaya çıkması toplumun tarımsal üretiminin gündelik gereksinimini aşmasının bir belirtisidir. Gordon Childe'a göre, büyücülük dışında, metalurji en eski uzmanlık dalıdır. Metalurjinin geliştiği tarım toplumlarının yaşadığı bölgelerde genellikle gerekli maden yataklarının bulunmaması toplumların kapalı ekonomiden vazgeçerek ticarete yönelmeleri ile sonuçlanmıştır.



Şekil – 6.1: İ.Ö. 575 – 550 yıllarına ilişkin bir Yunan vazo resminde madenciler. [Klemm, s. 37].

Metalurji genel olarak bakır ile başlamış olmakla birlikte, metalurjinin gelişimi ile bir yandan gerekli maden cevherlerinin tanınması, bunların çıkartılması, karışmış yabancı maddelerden ayrılması yani madencilik gelişirken öte yandan da bakır cevherlerinin aranması ve işlenmesi sırasında başka metaller de bulunmuştur. Örneğin İ.Ö.

3000'lerde Mısır'da gümüş ve kurşundan yapılmış eşyalara rastlanmış, gene bu yıllarda Mezopotamya ve İndus vadisinde kalay elde edilmiştir. Yeryüzünde bulunan oksitli ve karbonatlı bakır cevherlerinin tükenmesi kuyular açılarak daha derinlerden maden çıkartılmasına ilişkin tekniklerin geliştirilmesini gerektirmiştir. Örneğin, sert kayaları parçalamak için bunların karşısında ateş yakıp, ısınan yüzeylere su atma yöntemi bulunmuştur. Bu arada, sülfürlü bakır cevherlerinin önce açıkta kavrularak okside dönüştürülmesi ve ardından fırınlarda kömür ile indirgenmesi yöntemi de bulunarak geliştirilmiştir. Bütün bunlar madencilik ve metalurji tarihinin başlangıcında ve temelinde bakırın bulunduğunu göstermektedir. Eski uygarlık merkezlerinde metallerin, alaşımların ve camın ortaya çıkışı (Çizelge – 6.1)'de kronolojik olarak gösterilmiştir.

Metalurjide temel süreçler

Metalurjide kullanılan temel kimyasal süreçler metalurjinin doğuşundan beri aynı kalmıştır. Bunlar ısıl ayrıştırma, indirgeme ve yükseltgemedir. Metaller doğada genellikle karbonatları, hidroksitleri, oksitleri ve sülfürleri biçiminde bulunurlar. Metallerin elde edilmesindeki temel işlem metal oksidin karbon (kömür) ile indirgenmesidir:

$$\textit{Metal oksit} + C \rightarrow \textit{Metal} + CO_2$$

$$[2CuO + C \rightarrow 2Cu + CO_2]$$

Karbonat veya hidroksit biçimindeki metal bileşikleri önce bir ısıl işlemden geçirilerek ayrıştırılır ve okside dönüştürülürler. Bundan sonra karbonla indirgeme işlemi yapılır. Metal sülfürler ise önce havada kavrulurlar. Kavurma sırasında sülfür kükürdü hava oksijeninin etkisiyle yükseltgenir ve oluşan metal oksit karbonla indirgenir:

$$\textit{Metal sülfür} + O_2 \rightarrow \textit{Metal oksit} + SO_2$$

$$[CuS + O_2 \rightarrow CuO + SO_2]$$

ÇİZELGE – 6.1
Eski uygarlık merkezlerinde metallerin ve camın ortaya çıkışı
(Çok nadir bulunan malzemeler parantez içinde gösterilmiştir)
[Partington, s. 11]

İ.Ö.	MISIR	MEZOPOTAMYA	EGE VE DİĞER
4000	***Predinastik:*** Altın, gümüş, kurşun, bakır, (demir), sır, (cam)	***Sümer – Akad (Lagaş, Kiş ve Ur):*** Altın, gümüş, kurşun, (demir), bakır, kalay tuncu sır, (cam)	
3400	***I. Sülale:*** Kalay tuncu		
3000		Kurşun ve antimon tunçları, (kalay tuncu), metalik antimon	***Erken Minos (Knossos):*** Bakır, altın, gümüş, kurşun, kalay tuncu, sır
2500			***Filistin [Tyre (Sûr) ve Sidon (Sayda)]:*** Erguvan renkli kumaş boyası (*Murex*)
2000	***XII. Sülale:*** (Kalay), demir aletler	Kalay tuncunun yaygın olarak kullanılması	***Miken:*** Cam
1700 – 1500	***XVII. Sülale:*** Kalay tuncunun yaygın kullanımı, kalay, cam imalâthaneleri, kobalt camı, demirin kullanılması	Demirin kullanılması, çelik silâhlar, kalay oksit sır, kobalt camı	***Hititler:*** Karadeniz bölgesinde demir işleme (*Chalybes*) ***Filistin [Tyre (Sûr)]:*** Kurşun – bakır camı
1350 – 1200			***Filistin:*** Çinko pirinci ***Fenikeliler:*** Kalay ticareti
1000	Nubya demir endüstrisi, Asur demirinin Mısır'da yaygınlaşması	Asur demirinin yaygınlaşması	***Demir Çağı:*** Klasik Yunan dönemi
650		Asur kimyasal tabletleri, değerli taş taklitleri	

Bundan sonraki işlem elde edilen metalin saflaştırılmasıdır. Metal elde edilmesinde kullanılan cevherler saf olarak tek bir mineral içermediklerinden ele geçen metalin içinde istenmeyen başka metal ve maddeler de bulunur. En eski saflaştırma yöntemlerinden biri kupelasyon yöntemidir ve ilk kez altın ve gümüşün saflaştırılması için kullanılmıştır. Bu yöntemde altın ve gümüş alaşımları kurşun ile karıştırılıp bir potada eritilerek uzun süre ısıtılır. Safsızlıklar uçar, pota tarafından absorplanır veya dışık oluştururlar. Safsızlıkların giderilmesi için eritilen metale bu safsızlıklarla birleşerek dışık oluşturan bir maddenin katılması çok eski ve genel bir yöntemdir. Eskiçağ'da metalurjik yöntemlerin gelişimi (Çizelge – 6.2)'de topluca ve kronolojik olarak verilmiştir.

Şekil – 6.2: XVI. yüzyıla ilişkin bu resmin altındaki şiire göre "Sankt Annenberg'deki vadideki galeriler, şaftlar ve taş ocaklarında çalışan madenci". [Amman ve Sachs, s. 112].

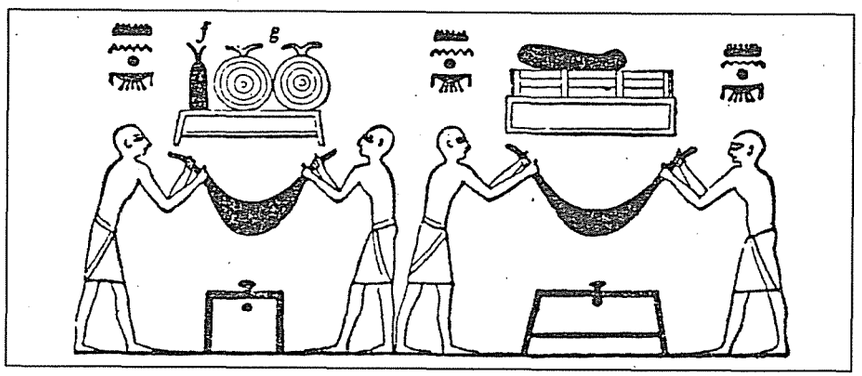
ÇİZELGE – 6.2
Eskiçağ'da metalurjik yöntemlerdeki gelişmeler
[Henseling, s. 14]

Dönem (İ.Ö.)	Genel yöntemler	Altın	Gümüş ve kurşun	Bakır	Kalay ve tunç	Demir
5000 – 4000		Doğada serbest altın		Bakırın serleştirilmesi		Meteorik demir
4000 – 3000			Doğada serbest gümüş	Oksitli bakır cevherlerinin işlenmesi	Kasiterit ve oksitli bakır cevherlerinden tunç eldesi	
3000 – 2000	Sülfürlü cevherlerin kavrulması		Simli kurşundan kurşun ve gümüşün ayrılması		Yakın ve Orta Doğu'da kalay cevherinin tükenmesi üzerine Batı'ya yöneliş	Cevherden demir eldesi
2000 – 1000		Altın ve gümüşün ayrılması		Sülfürlü cevherlerin kavrulup işlenmesi	Cevherlerden kalay ve kalay ile bakırdan tunç eldesi	Sementasyon yoluyla çelik eldesi
1000 – 0	Kupelasyon	Amalgamlama, tuz ve kükürt bileşikleri ile arıtma	Simli kurşundan saf gümüş eldesi			Demirin yaygın kullanımı

ALTIN

Altın insanlar tarafından kullanılan ilk metal olduğu gibi madencilik, saflaştırma ve metal işleme tekniklerinin gelişmesinde de öncülük etmiştir. İnsanlar Cilâlı Taş devrinde toprak yüzeyinde ve özellikle akarsu yataklarında birikmiş olarak bulunan metalik altını parlaklığı ve rengi nedeniyle fark etmişlerdir. Altın eski çağlarda rengi nedeniyle güneş ile ilişkilendirilmiştir.

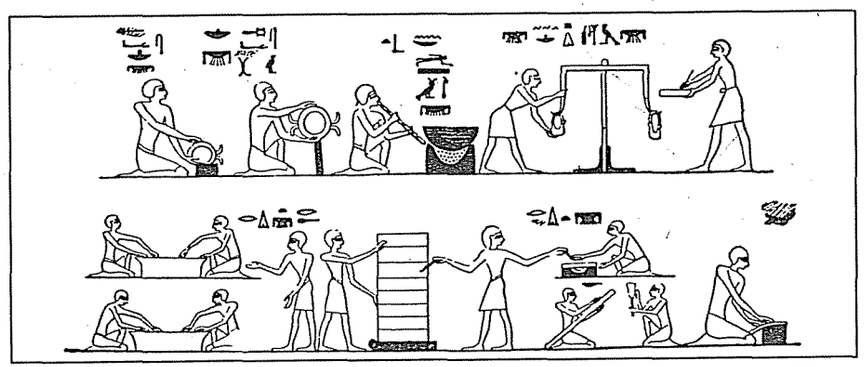
Akarsu yataklarında bulunan altın buralardan toplanıp yoğunluğunun yüksek olması nedeniyle basit yıkama yöntemleri kullanılarak toprak ve kumdan ayrılmıştır. (Şekil – 6.3). Altının yumuşak ve işlenebilir olması, ısıl işlemlere gerek olmadan dövülerek biçimlendirilebilmesi önemini arttırmıştır. Aynı durum doğal bakır için de geçerlidir.



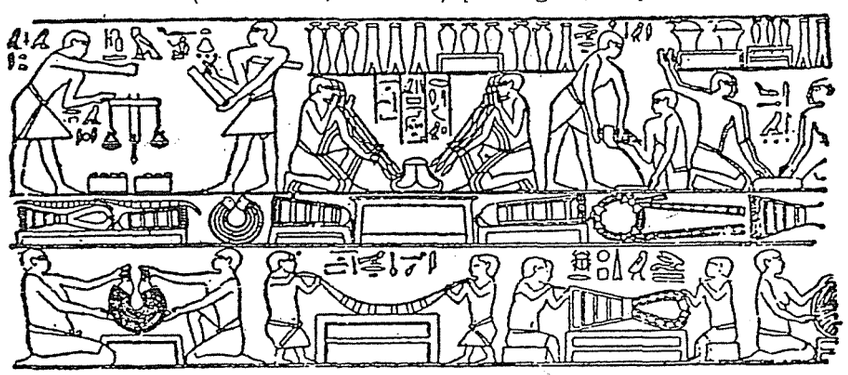
Şekil – 6.3: Eski Mısır'da altının yıkanması. Altın ırmakların biriktirdiği alüvyonların yıkanmasıyla elde edilirdi. [Partington, s. 2].

Doğal altın % 90 – 99 oranında altın, % 1 – 10 oranında gümüş içerir ve bunun yanında genellikle bakır, SiO_2 ve Fe_2O_3 gibi diğer maddeler de bulunur. Eski dönemlerden beri altının içindeki gümüşün ve bakırın ayrıştırılması önemli bir sorun olarak insanları uğraştırmıştır. Genellikle kullanılan ayrıştırma ve saflaştırma yöntemi altın ve gümüş alaşımını eriterek suya döküp elde edilen belirli büyüklükteki tanelerin (granülasyon) tuz (NaCl) ile işleme sokularak gümüşün gümüş klorüre (AgCl) dönüştürülmesi ve bunun da tuz aşırısında

çözünmesinden yararlanılarak uzaklaştırılmasına dayanır.[1] Saflaştırma işlemi yapılmadığı durumda beyazımsı renkli altın – gümüş alaşımı olan elektrum ele geçer. Yıkama yoluyla elde edilen altın doğrudan veya saflaştırıldıktan sonra eritilerek külçe haline getirilmiş ve ardından istenilen şekil verilmiştir. Altını eritmek için odunkömürü kullanılmış ve gerekli hava ağız üfleçleri ile veya tulumdan yapılmış körüklerle sağlanmıştır. (Şekil – 6.4 ve 6.5). Altın külçeleri bir taşın içindeki delikten çekilerek tel haline getirilmiş ve daha sonra ince kum ve akik ile perdahlanmıştır.



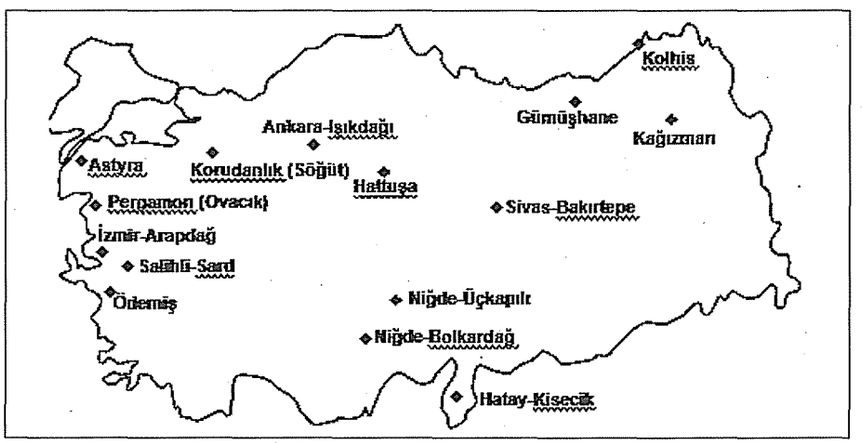
Şekil – 6.4: Altını yıkayan, eriten ve tartan eski Mısır'lı altın işleyiciler. (Beni Hasan, İ.Ö. 1900). [Partington, s. 7].



Şekil – 6.5: Eski Mısır'da "Eski Krallık" dönemine ilişkin bir mezarın duvarına çizilmiş bir kuyumcu atölyesini gösteren resim. [Childe, s. 167].

1 Gümüş klorür aşırı klorür iyonu varlığında dikloroargantat kompleksi oluşturarak çözünür: $AgCl + Cl^- \rightarrow [AgCl_2]^-$.

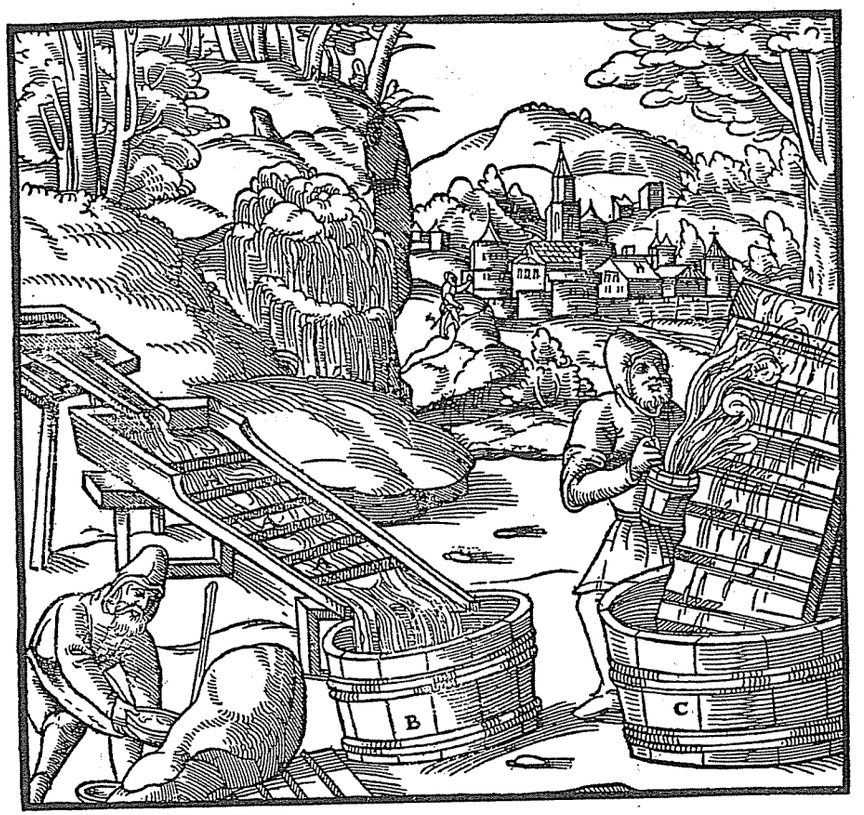
Fazla miktarda altın bulunmadığı durumlarda altın dövülerek çok ince levhalar haline getirilmiş ve diğer malzemeden yapılan eşyalar bu levhalarla kaplanmıştır. Kayalar içinde bulunan altının çıkartılması için altın içeren kayaların önünde ateş yakılarak bunlar kızdırılmış, daha sonra üzerlerine su atılarak dağılmaları sağlanmış ve içlerindeki altın yıkama yoluyla ayrılmıştır. Özellikle Anadolu'da yapılan kazılarda İ.Ö. 6000'lere ilişkin altından yapılmış süs eşyaları bulunmuştur. Eskiçağın en önemli altın üretim merkezlerinden biri Lydia'nın başkenti olan günümüzdeki Manisa yakınlarındaki Sardes kentidir ve burada Paktalos çayının yatağından altın çıkartılmıştır. Eskiçağ'da Anadolu'da altın çıkartılan yerler (Şekil – 6.6)'de verilmiştir. Altın insanlar tarafından kullanılan ilk metal olduğu gibi madencilik, saflaştırma ve metal işleme tekniklerinin gelişmasinde de öncülük etmiştir.



Şekil – 6.6: Eskiçağ'da Anadolu'da altın üretimi yapılmış olan başlıca yerler.

Amerika'nın keşfinden önce Orta ve Güney Amerika'da yıkama yoluyla altın ve platini elde edilmiştir. Ecuador'da altın sadece süs eşyası yapımında kullanılmamış, bunun yanında bir metal olarak olta iğnesi, dikiş iğnesi gibi gündelik yaşama yönelik eşyanın yapılamsında da kullanılmıştır. Kolombiya'da ise altın genellikle bakır alaşımları halinde kullanılmıştır. Bunlardan biri *tumbago* adı verilen % 50 bakır, % 33 alt ın ve % 12 gümüş içeren bir alaşımdır.

Günümüze gelinceye kadar özellikle kayalar içinde bulunan altının elde edilmesi için cıva ile amalgamlama ve siyanür ile işleme gibi yöntemler geliştirilmiş olmakla birlikte kayaların aşınma ve parçalanması sonucunda özellikle akarsu yataklarında birikmiş olan altının yıkama yoluyla ayrılarak elde edilmesi eski çağlardan beri uygulanan bir yöntemdir. (Şekil – 6.7).



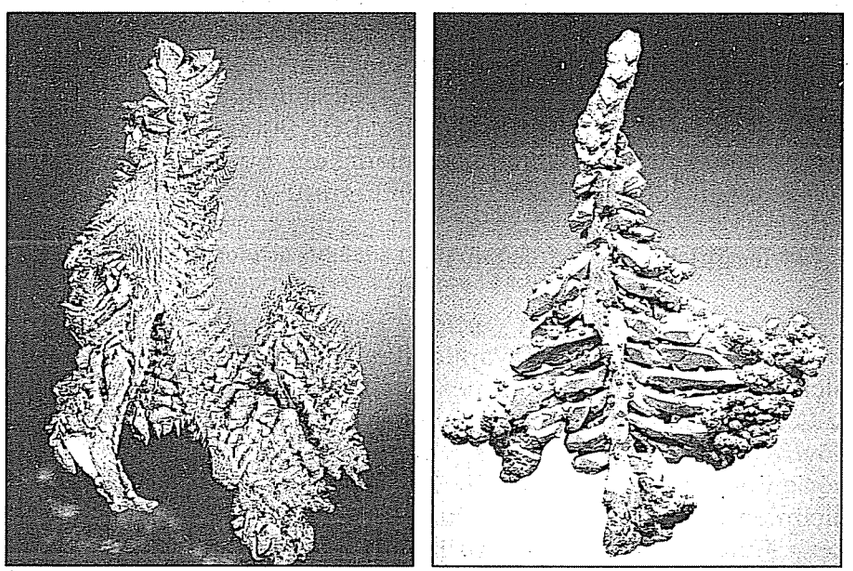
Şekil – 6.7: Ortaçağ'da yıkama yoluşyla ayrılarak altın elde edilmesi. [Agricola, s. 328].

BAKIR

Doğada bulunuşu

Altın ve gümüş dışında özellikle gündelik kullanıma yönelik eşya yapımında ilk kullanılan metalin bakır olduğu

sanılmaktadır. Bakır doğada yeryüzünde az miktarda elementel biçimde bulunabildiği gibi (Şekil – 6.8) yeşil renkli *malahit* [$Cu_2(CO_3)(OH)_2$; hidrate bakır karbonat], mavi renkli *azurit* [$Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$; hidrate bakır karbonat] ve *kalkopirit* [$CuFeS_2$] mineralleri biçiminde bulunur. Malahit ve özellikle azurit rengi dolayısıyla insanların ilgisini çekmiş ve bunlardan boncuk gibi çeşitli süs eşyaları yapılmıştır. Malahit ve azurit gibi bakır mineralleri odun ateşinde kolaylıkla elementel bakıra indirgenebilirler. Böyle bir süs eşyasının ateşe atılmasının ardından veya bu mineralleri içeren bir yerde yakılan ateşin külleri arasında elementel bakırdan oluşmuş boncukların bulunmuş olması yoluyla bakır metalurjisinin doğmuş olduğu düşünülmektedir.



Şekil – 6.8: Doğada serbest olarak bulunan metalik bakır örnekleri.

Bakır Latincede *cuprum* olarak adlandırılır. Asur dilindeki bakır anlamına gelen *kıpar*'dan kaynaklanan bu ad ilk kez İ.Ö. 290'da Roma İmparatoru Spartinus tarafından kullanılmıştır. Eskiçağda önemli bakır madenlerine sahip olan Kıbrıs (*Cyprium*) adasının adı da *cuprum*'dan gelmektedir. Eski elkimyacılar bakırı kızıl renginden dolayı Venüs gezegeni ile ilişkilendirmişler ve bu gezegenin sembolü olan ♀ sembolü ile

göstermişlerdir. Bu sembolün hiyeroglif alfabesindeki karşılığı ise yaşamdır. Bu da eski çağlarda bakırın ne kadar önemli olduğunu vurgulamaktadır.

Doğal bakır

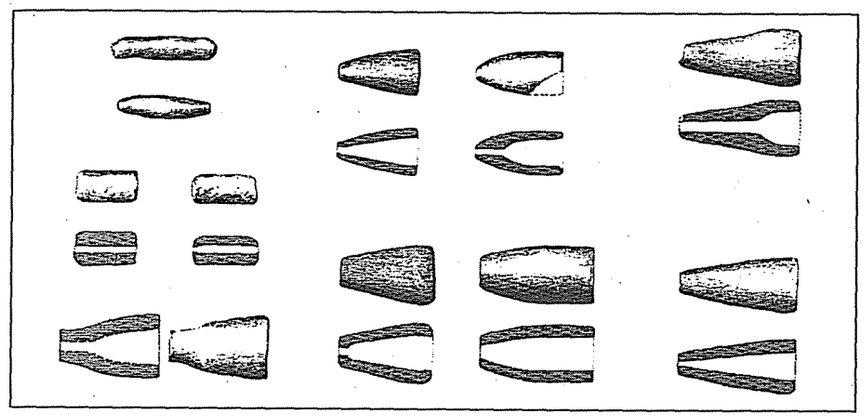
Bakırın ilk kullanılan biçimi doğal bakırdır. Doğal bakır çok az miktarlarda gümüş, arsenik, demir, kobalt, kurşun, nikel gibi elementleri de içerir. Doğal bakırdan yapılmış arkeolojik eserler bileşimleri bakımından metalurjik yolla elde edilmiş bakırdan yapılmış olanlardan kolaylıkla ayırt edilebilir. Doğal bakırın ısıtılması durumunda yumuşaklık, işlenebilirlik ve dövülebilirlik özelliği kazandığı çok eskiden beri bilinmektedir. Bu özelliğin ateşe atılan bir bakır parçasında tesadüfen gözlenerek bulunmuş olduğu düşünülmektedir. Doğal bakırdan yapılmış olduğu saptanan en eski buluntular Diyarbakır yakınındaki Çayönü Tepesi höyüğünde ve İran'da Ali Koş'da bulunmuş olup bunlar İ.Ö. 9000 – 7000 olarak tarihlendirilmiştir. Yapılan incelemeler bunların çoğunun soğuk işlem yoluyla elde edilmiş olduğunu ortaya koymuştur.

Doğal bakırın dökümü

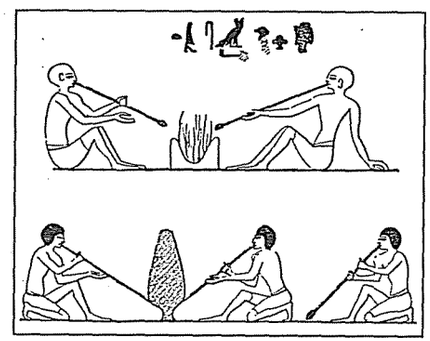
Metallerin ve bu arada bakırın gerçek üstünlüğü eritilerek dökümünün yapılabilmesi ve böylece istenilen biçimin kolaylıkla verilebilmesidir. Döküm kalıpları kolaylıkla kilden yapılabilir. Döküm yoluyla elde edilen malzeme dövülerek biçimlendirilebilir, balta gibi kesici aletler aşınıp körlenince yeniden bilenebilir ve en önemlisi yeniden eritilerek biçimlendirilebilir. Doğal bakırın eritilerek dökümü gene ilk kez Anadolu'da gerçekleştirilmiştir. Bu yolla elde edilmiş olduğu saptanan arkeolojik buluntulardan Çatal Höyük'dekiler İ.Ö. 7000 – 6000, İran'da Sialk'dakiler İ.Ö. 4500 ve Mısır'dakiler İ.Ö. 5000 – 4000 olarak tarihlendirilmiştir.

Metallerin işlenmeye başlanması yeni buluşları da getirmiştir. Bakırı eritmek için gerekli olan 1100 °C dolayındaki sıcaklık ancak bir fırın yardımıyla sağlanabilir. Eritme işlemi odun kömürü kullanılarak küçük pota fırınlar içinde yapılmış ve gerekli hava ağız üfleçleri ile verilmiştir. Ateşe hava üflemek için bir kamış borunun ucuna pişmiş topraktan

yapılmış uçlar takılmış olan ağız üfleçlerinden yararlanılmıştır. (Şekil – 6.9 ve 6.10). Fırına sürekli olarak ve bol miktarda hava üfleme sorununu çözümleyen körüğün bulunuşu ancak İ.Ö. 1600 dolaylarında gerçekleşebilmiştir. (Şekil – 6.11). Zaman içinde çeşitli fırınlar, potalar ve dökümcülükte kullanılan kıskaçlar geliştirilmiştir. (Şekil – 6.12).

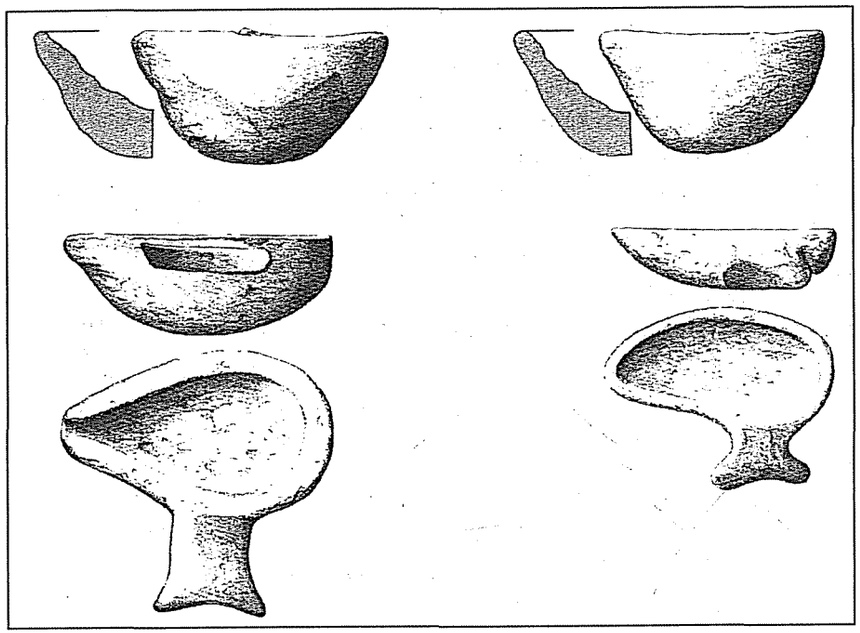


Şekil – 6.9: Anadolu'da yapılmış çeşitli kazılarda bulunmuş olan pişmiş topraktan üfleç uçları. [Tekin, s. 59].

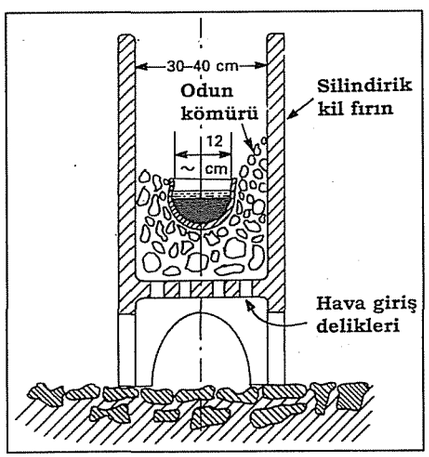


Şekil – 6.10: Eski Mısır'da metal işleme. Üstteki resimde kil uçlu kamış üfleçlerle ateşe hava üflenmesi (Beni Hasan, İ.Ö. 1900) ve alttaki resimde de bir bakır vazonun ısıl işlemle biçimlendirilmesi görülmektedir. (Thebes, İ.Ö. ≈ 1500). [Partington, s. 7].

Şekil – 6.11: Ayakla çalışan körüklerin kullanılması. Koyun veya keçi tulumundan yapılmış olan bu körükler bir çift oluşturur. Birinin üzerine ayakla basılarak içindeki hava ateşe üflenirken ötekinin üzerine bağlı ip çekilerek içine hava dolması sağlanır.



Şekil – 6.12: Anadolu'da yapılan çeşitli kazılarda bulunmuş olan potalardan örnekler. [Tekin, s. 64].



Şekil – 6.13: Bilinen en eski pota fırınının (İ.Ö. 3300 – 3000) Beerşeba yakınında Abu Matar'da 1951'de J. Perrot tarafından yapılan kazılarda elde edilen buluntulara göre yapılmış olan çizimi. Fırının yarısına kadar doldurulmuş olan odun kömürü içine yerleştirilen yarım küre biçimindeki potanın içindeki doğal bakırın safsızlıklarının giderilmesi için doğal hava akımı yardımıyla eritildiği anlaşılmaktadır. [Darling, s. 51].

Döküm kalıpları önceleri kilden ve gerektiğinde iki parçalı olarak yapılırken İ.Ö. 3000 dolaylarında Mezopotamya'da *cire perdue* yöntemiyle döküm kalıbı yapılması

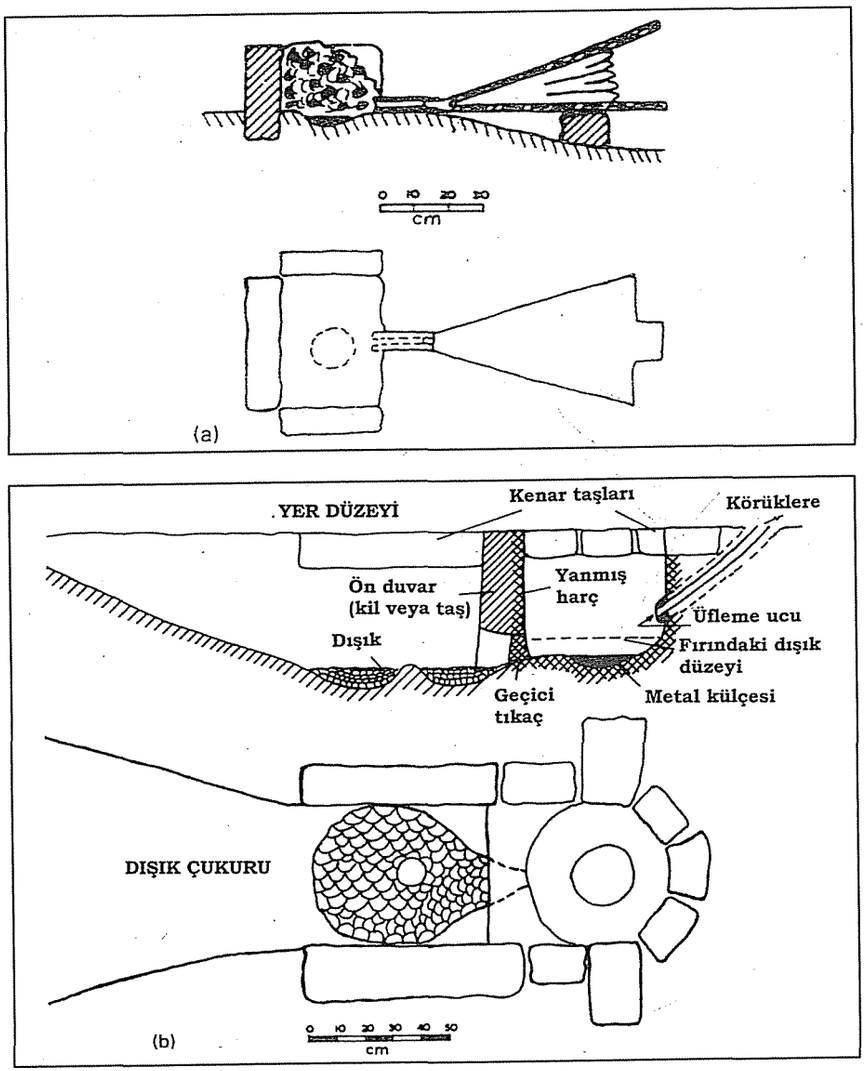
bulunmuştur. Bu yönteme göre, dökülecek eşyanın modeli önce balmumundan veya benzeri bir maddeden yapılır ve daha sonra bunun üzeri kille kaplanarak ateşte pişirilir. Bu sırada mum eriyerek akar, oluşan boşluğa erimiş metal dökülür ve soğuduktan sonra kil kalıp kırılarak dökülen parça çıkartılır. Bu yöntem özellikle heykellerin dökümüne olanak sağlamıştır.

Oksitli ve karbonatlı cevherlerin işlenmesi

Doğal bakırın önce soğuk ve daha sonra sıcak işlenmesinin ve dökümünün ardından oksitli ve karbonatlı *kuprit* [Cu_2O], *malahit*, *azurit* ve *krisokolla* [$CuSiO_3.2H_2O$] gibi bakır cevherlerinden bakırın elde edilmesi aşamasına geçilmiş ve bunun sonucunda gerçek anlamda *Bakır Çağı* başlamıştır. Bakırın cevherden elde edilmesine yaygın olarak İ.Ö. 5000'lerde başlanmıştır. Başlangıçta basit bir çukur fırında cevher ve odun kömürü karıştırılarak indirgeme yapılmış ve fırının dibinde 20 – 25 cm çapında külçeler kalmıştır. İlk dönemlere ilişkin bakır örneklerinin analizinda kükürt oranının çok düşük olması bunların yüksek oranda bakır içeren oksitli veya karbonatlı cevherlerin indirgenmesi ile elde edildiğini göstermektedir. Daha sonraları düşük oranda bakır içeren cevherler işlenmiş, odun kömürü ile yapılan indirgemede hava miktarı ustaca ayarlanarak bakır indirgenirken demir oksitlenmiş ve böylece demir ve diğer yabancı maddelerden arınmış halde erimiş bakır elde edilmiştir. (Şekil – 6.14).

Sülfürlü cevherlerin işlenmesi

Daha çok yer yüzeyinde bulunan oksitli ve karbonatlı bakır cevherlerinin giderek tükenmesi üzerine daha derinlere inilmiş ve ***kalkopirit*** gibi sülfürlü cevherlerle karşılaşılmıştır. Bu aşamada öncelikle yüksek oranda bakır içeren damarlardaki cevherler işlenmiştir. Bazı damarların İspanya'daki Rio Tinto madenlerinde % 15 ve Ergani'de % 25 oranında bakır içerdiği bilinmektedir. Sülfürlü cevherlerin işlenmesinde önce kavurma ve ardından odun kömürü ile indirgeme işlemi uygulanmıştır.

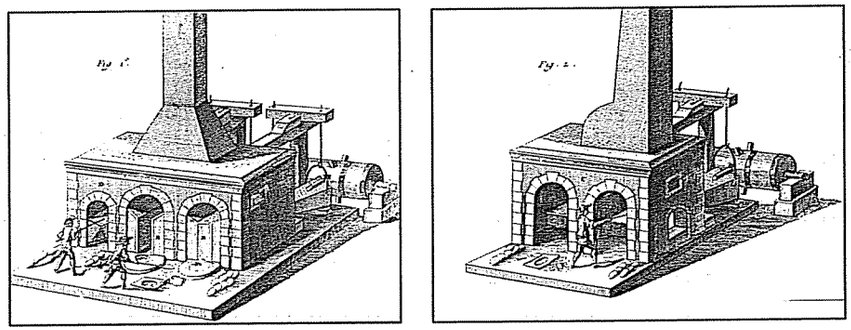


Şekil – 6.14: Eski bir bakır elde edilme merkezi olan ve günümüzdeki İsrail'in Güney Negev bölgesinde bulunan Timna'da yapılan kazılarda elde edilen buluntulara dayanılarak çizimi yapılmış fırınlar. Burada krisokolla cevheri işlenmiş ve dışık oluşturmak üzere Kızıl Deniz kabuklularının kabukları kullanılmıştır. Dışık kalıntıları % 14 kalsiyum oksit içermektedir. Dışık ile bakır birbirinden ayrılır ve metal dışığın altında katı bir külçe halinde kalır. (a) İ.Ö. XII. yüzyıla ilişkin bir fırın ve (b) İ.Ö. XI. yüzyıla ilişkin daha gelişmiş bir fırın. Burada dışık ile metalin farklı kum yatakları üzerine ayrı ayrı akıtılması sağlanmıştır. [Darling, s. 53].

Arsenikli bakır

Üretim teknolojisi yeterli düzeyde gelişmediğinden elde edilen bakırın içersinde çeşitli safsızlıklar bulunmaktadır. Bu safsızlıkların metalurjinin gelişimi üzerine olumlu etkileri de olmuş ve alaşımlara giden yolu açmıştır. Bakır çağının ikinci yarısında elde edilen bakırın % 2 dolayında arsenik içerdiği görülmektedir. Arsenik bakıra sertlik verdiğinden *arsenikli bakır* olarak adlandırılan bu alaşımdan kesici aletlerin yapıldığı görülmektedir. Metalin dayanımını arttırmaya yönelik bu uygulama ilk alaşım türü olarak metalurji tarihinde bir dönüm noktası oluşturmaktadır. Arsenikli bakır İ.Ö. 4000'de Mısır'da ve İ.Ö. 2700'de Mezopotamya'da ortaya çıkmış ve 1500 yıl süreyle üretilmiştir.

Şekil – 6.15: XVI. yüzyılda bakır elde edilmesinde kullanılan fırınlar. [Agricola, s. 532].

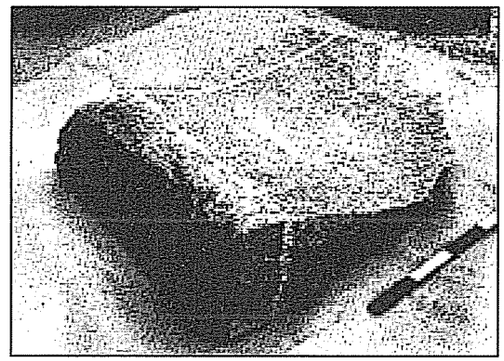


Şekil – 6.16: XVIII. yüzyılda Fransa'da bakır elde etmek için kullanılan ve körükleri su çarkı ile çalışan fırınlar. Soldaki ham bakırın elde edildiği ve sağdaki de ham bakırın arıtıldığı fırındır. [Diderot. I, Plate 139].

KALAY

Kalay kaynağı olarak günümüzde olduğu gibi geçmişte de *kasiterit* [kalay dioksit, SnO_2] minerali kullanılmıştır. Yunanca kalay anlamına gelen *kassiteros* sözcüğü Kelt kökenlidir. Anadolu'da İ.Ö. 2500 dolaylarından beri tunç elde edilmesi için kalay kullanılmakla birlikte yakın zamana kadar bunun dışarıdan getirildiği kabul edilmekteydi. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü tarafından yapılan jeo-arkeolojik çalışmalar sonucunda 1986'da Niğde'nin Celâller Köyü yakınında kasiterit yataklarına rastlanmıştır. Burada yapılan araştırmalar sonucunda Santuzla (Kestel) I ve buraya yaklaşık bir km mesafede bulunan Mine Damı mevkilerinde yeraltı kalay madenciliğine ilişkin eskiçağdan kalma galerilere ulaşılmış ve cevher zenginleştirme ve öğütmeye ilişkin bir açık hava atölyesi ile bu amaçla kullanılan çok sayıda taş alete rastlanmıştır. (Şekil – 6.17). Bu maden sahalarına yaklaşık iki km uzaklıktaki Göltepesi eski madenciliğin yerleşim alanı olup burada yapılan kazılarda içine kalay artığı bulaşmış yüzden fazla eritme potası ve kalıp bulunmuştur. Bütün bunlar Anadolu'da 5000 yıl öncesinden başlayan bir kalay madenciliğinin olduğunu göstermektedir. Buradaki kalay madenleri Bizans dönemine kadar işletilmiş ve tahminen 1000 ton kalay elde edilmiştir.[2]

2 Ergun Kaptan, "Anadolu'da kalay ve eski yeraltı kalay madenciliği", *Jeoloji Mühendisliği*, 40, 15 – 19 (1992).



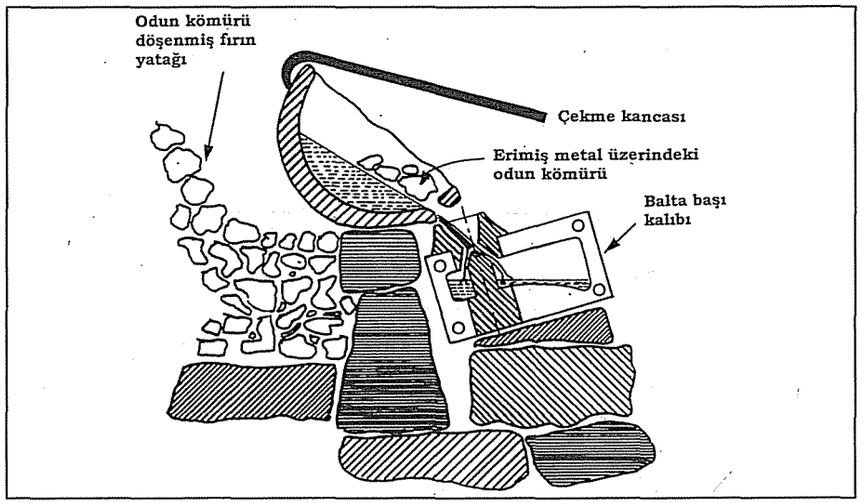
Şekil – 6.17: Celâller Köyü yakınlarındaki Göltepesi'nde yapılan kazılarda bulunmuş olan cevher öğütme havanlarından biri. [Kaptan, s. 18].

TUNÇ (BRONZ)

Tunç temel olarak bir bakır – kalay alaşımıdır. Tunç nitelik bakımından bakıra oranla daha üstün olduğundan çok daha ince ve ayrıntılı parçalar dökülebilir. (Şekil – 6.18 ve 6.19).

Şekil – 6.18: Eski Mısır'da tunç dökümü. Ayakla çalışan körükler ve kıskaçlar ilgi çekicidir. Potalar taze ağaç dalları yardımıyla taşınıp muhtemelen tunç bir kapının dökümü yapılıyor. (Thebes kentinde Rekhmire'nin mezarındaki duvar resimlerinden, İ.Ö. ≈ 1470). [Bernal, cilt I, s. 112 ve Kiaulehn, s. 228].

Arsenikli bakırın içindeki arsenik oranı başlangıçta % 7 dolayına kadar çıkarken İ.Ö. 3000'lerden başlayarak giderek düşüş göstermiş olup nadiren % 2,5 dolayına kadar yükselir. İ.Ö. 3000 – 2500 dolaylarında Mezopotamya'da % 8 – 10 oranında kalay içeren tunçlar ortaya çıkmıştır. Erken Tunç Çağı'ndaki tunçlar yüksek oranda arsenik yanında değişen oranlarda kalay içerdiğinden *arsenik tuncu* ve Orta Tunç Çağı'nda arsenik miktarı çok azalmış olduğundan *kalay tuncu* veya sadece *tunç* olarak adlandırılır.



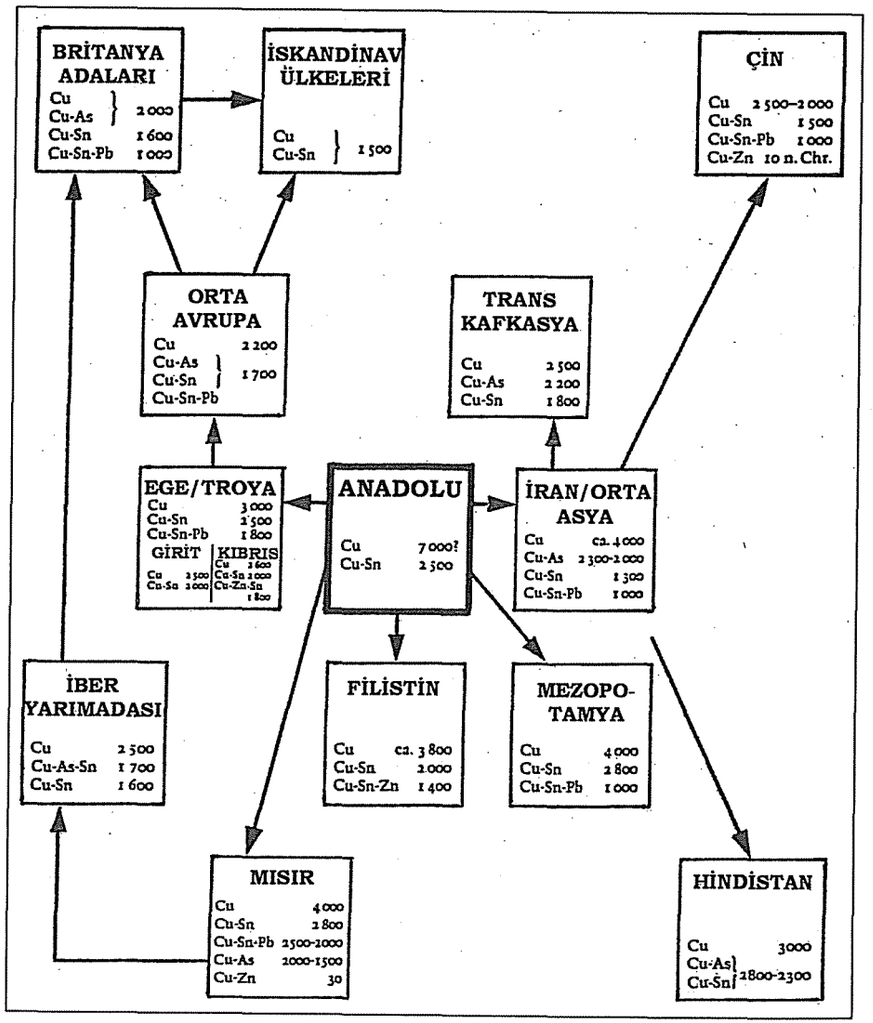
Şekil – 6.19: Ege adaları ve Sina'da tunç dökümü için İ.Ö. 1600 – 1200 yılları arasında yaygın olarak kullanılmış olan sallanan pota sistemi. İlkel bir fırından içi erimiş metal dolu ağır bir potayı alıp denetimli bir biçimde kalıplara dökmenin güçlüğü karşısında bu sistem geliştirilmiştir. Bu tür potalar yanlarında bir döküm deliği içerir ve pota bir kanca ile çekilip eğilerek erimiş metalin bu delikten güvenli bir biçimde kalıba akması sağlanır. Yaklaşık 8 kg tunç alabilen böyle bir pota 1906'da Sina'da yapılan kazılarda bulunmuştur. [Darling, s. 51].

Tepe Gawra'da bulunan ve İ.Ö. 2250 olarak tarihlenen bir savaş baltasının yapılan analizinde bakır yanında % 5,7 kalay, % 0,1 arsenik, % 0,1 nikel ve % 0,1 demir içerdiği saptanmıştır. Eski Mısır dönemine ilişkin bazı tunç büstlerin kalitatif analiz sonuçları (Çizelğa – 6.3)'de verilmiştir.

ÇİZELGE – 6.3
Viyana'daki Kunsthistorisches Museum'da bulunan bazı bronz eski Mısır heykellerinin kalitatif analizi
[Weisz, s. 72]

Heykel	Bakır	Kurşun	Bizmut	Kalay	Demir	Çinko
1 Osiris	+	+	+	+	+	+
2 Osiris	+	+	+	—	—	—
3 Osiris	+	+	+	+	+	+
4 İsis	+	—	—	+	+	—
5 İsis	+	+	+	—	+	+
6 Anukis	+	+	+	—	+	—

Eski tunç eşyaların incelenmesinden ayrı ayrı elde edilen bakır ve kalay metallerinin daha sonra birlikte eritilerek alaşım haline getirilmiş olduğu anlaşılmıştır. İ.Ö. 2000'lerde döküm sırasında akışkanlığını arttırmak için tunca % 1 – 10 arasında kurşun katıldığı görülmektedir. Bakır ve bakır alaşımlarının yayılışı (Şekil – 6.20)'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil – 6.20: Bakır ve bakır alaşımlarının Avrupa ve Asya'da yayılışı. [Bor, s. 98].

Roma döneminde görülen bir gelişme de tuncun içine çinko katılmasıdır ve bu pirinç alaşımına giden yolun başlangıcıdır. Bakır ve alaşımlarının tarihsel gelişimi (Çizelge – 6.4)'de verilmiştir.

ÇİZELGE – 6.4
Bakır ve alaşımlarının bileşimlerinin tarihsel gelişimi

Dönem	Tarih (İ.Ö.)	Alaşımlar
Bakır Çağı	5500 – 3000	**Cu ve Cu/As**
Erken Tunç Çağı	3000 – 2500	**Cu/As ve Cu/Sn**
Orta Tunç Çağı	2500 – 2000	**Cu/Sn**
Geç Tunç Çağı	2000 – 1200	**Cu/Sn/Pb**
Erken Demir Çağı	1200 – 800	**Cu/Sn/Pb/Fe**
Geç Demir Çağı	800 – 600	**Cu/Sn/Pb/Fe/Zn**

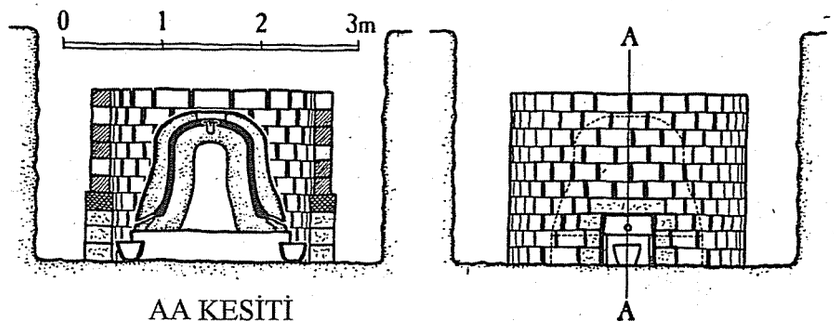
ORTAÇAĞ VE SONRASINDA TUNÇ DÖKÜMÜ

Tunç çağının ardından demir çağının gelmesi, demirin giderek bollaşıp temel metal durumuna gelerek tuncun yerini alması sonucuda tunç gündelik eşya, silâh ve alet yapımı alanından çekilmiştir. Ortaçağ'da kilise ve büyük katedral çanlarının dökümü tunç dökümcülüğü için yeni bir alan açmıştır. Çanın sesi açısından çan alaşımının bileşimi de çok önemlidir ve iyi ses veren bir çanın dökmü de büyük bilgi ve ustalık gerektirmektedir.

XII. yüzyılda yaşamış olan Theophilus çeşitli kilise eşyasının yapılmasına ilişkin teknik bilgi ve reçeteleri *De Diversis Artibus* [Çeşitli Sanatlar Üzerine] adlı bir kitapta toplamıştır. Bir el kitabı niteliğindeki bu kitapta çeşitli eşyanın üretilmesine ilişkin olarak son derece ayrıntılı bilgiler verilmektedir. Kitabın önemli bir bölümü metal dökümcülüğüne ve özellikle tunç kilise çanlarının dökümüne ayrılmıştır.

Theophilus'a göre yatay bir eksen etrafında dönen kilden bir iç kalıp hazırlanıp bunun üzerine katı donyağı ile çanın

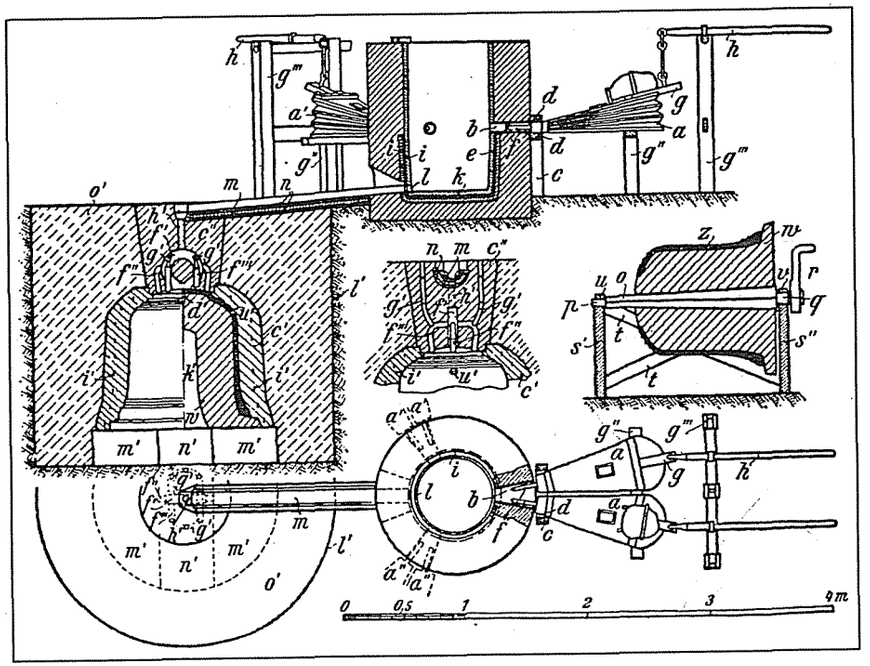
kalıbı yapılır ve üzeri tekrar kil ile kaplanır. Hazırlanan bu kalıp kilin pişmesi ve donyağının da eriyip akmasını sağlamak için bir döküm çukuru içine konularak çevresine geçici bir fırın yapılarak yakılır. (Şekil – 6.21). Çan dökümü için hazırlanan kalıp piştikten sonra bulunduğu çukur toprak ile doldurulur ve fırında eritilen çan metali ile döküm yapılır.



Şekil – 6.21: Kil ve donyağından yapılan çan kalıbının yerleştirildiği döküm çukuru ve geçici fırının Theophilus'un anlatımına göre yapılmış olan çizimi. [Theophilus, s 171].

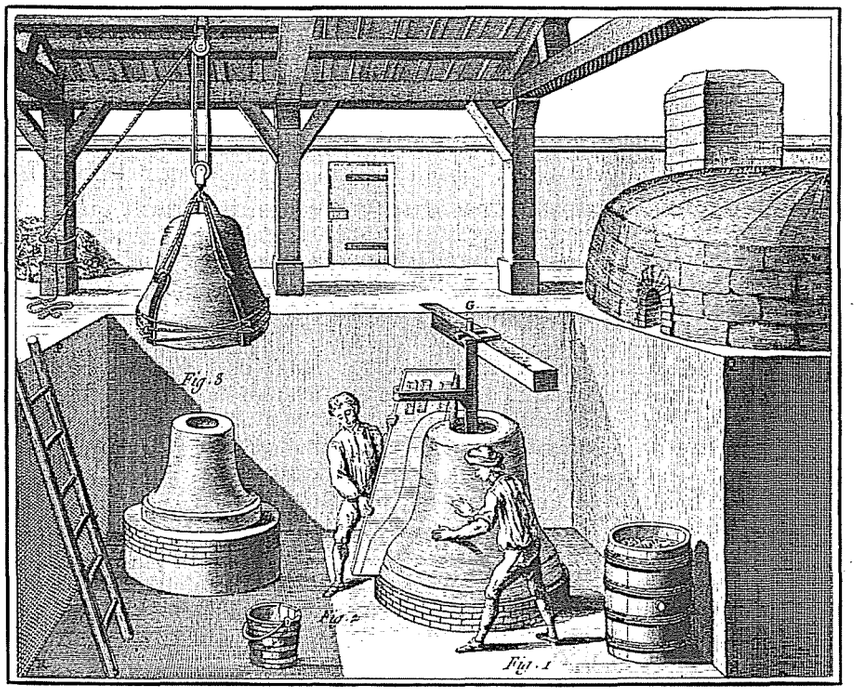
Metali eritmek için yuvarlak dipli demir bir pota alınarak bunun içi ve dışı kil ile kaplanır. Bu potanın çevresine taş ve kilden eritme fırını yapılır. Dökülecek parça (çan) çok büyükse ya iki veya üç tane küçük fırın ya da bir tane çok büyük fırın yapılır. Fırının çevresine üç tane delik açılır ve buralara birer çift körük yerleştirilir. Her körük iki kuvvetli adam tarafından çekilir. Çan metali özel bileşimli bir tunç olup 4 kısım bakır ile 1 kısım kalaydan oluşur. Fırına önce odun kömürü ile biraz bakır konulur ve yeşil alev görülmesi bakırır eridiğini gösterir. Sonra kalay ve ardından kömür ile bakır katılır. Bütün fırınlardaki metal eriyince içlerindeki metal sırayla kalıba akıtılarak döküm yapılır. (Şekil – 6.22).

Rönesans döneminde kilise çanlarına ek olarak bir yandan heykellerin ve öte yandan da savaşlarda top kullanımının hızla yaygınlaşması tunç dökümcülüğüne yeni alanlar açtı. Tunç toplar XIX. yüzyıl ortalarından itibaren kullanımdan kalkmış olmakla birlikte tunç dökümü diğer alanlarda günümüzde de önemini korumaktadır. (Şekil – 6.23 ve 6.24).



Şekil – 6.22: Döküm için kullanılan fırın ile döküm düzeninin Theophilus'un anlatımına göre yapılmış olan plan ve kesit çizimi. [Theophilus s. 172].

Şekil – 6.23: XVI. yüzyıla ilişkin bir resimde "Çan dökümcüsü". [Amman ve Sachs, s. 62].



Şekil – 6.24: XVIII. yüzyılda Fransa'da bir çan dökümhanesinde doküm çukuru ve çan kalıpları. [Diderot, I, Plate 115].

OSMANLILARDA TOP DÖKÜMÜ

Fatih döneminde top dökümü (XV. yüzyıl)

İstanbul'un fethi sırasında Fatih'in yanında bulunan ve olayları yakından gözleyen Bizanslı tarihçi Kritovulos kuşatmada kullanılan büyük topların dökümünü doğru ve ayrıntılı bir biçimde anlatmaktadır.[3] Top eski çağlardan beri kullanılan savaş makinelerinden biri sayıldığından Kritovulos da topu "makine" olarak adlandırmaktadır. Kritovulos'un anlatımından büyük kuşatma toplarının İstanbul önünde döküldüğü, bir topun dökümü için iki tane eritme fırını kullanıldığı, bu fırınların XII. yüzyılda Theophilus'un çan

3 Kritovulos, *Kritovulos Tarihi (1451 – 1467)*, Çeviren Ari Çokona, İstanbul 2018, s. 53 – 54.

dökümü için tanımladığı fırınların çok benzeri olduğu ve döküm kalıbının da döküm çukuru içine yerleştirildiği anlaşılmaktadır. Osmanlıların 1389'daki Kosova meydan savaşında top kullandıkları ve dolayısı ile top döktükleri bilinmekle birlikte İstanbul'un kuşatılması sırasında kullanılan çok büyük topların dökümü için Macar Urban'in teknik bilgisine başvurulmuştur.[4] Kendisinin döktüğü bir topun ateşlenmesi sırasında parçalanması sonucunda öldüğü söylenmektedir. Kritovulos topun kalıbının yapılışını ve dökümünü aşağıdaki şekle anlatmatadr.

> "*[Topun kalıbının yapılması]:* En hafif, en temiz ve en ince topraktan hazırlanan kil günlerce suyla ıslatılarak işlenecek kıvama getirildi. İyice ufalanmış keten, kendir ve bazı başka bağlayıcı ve bir arada tutucu malzemelerle özenle harmanlanıp karıştırıldı, yekpare ve ayrışmaz bir kütle hazırlandı. Bu kütleden, çekirdek olarak kullanılmak üzere, kırk karış[5] boyunda yuvarlak, borumsu, uzun bir kalıp döküldü. Uzunluğunun yarısı kadar olan ve taşın [güllenin] yerleştirildiği ön kısmın çevresi on iki karış, barut konulan arka yarının, yani kuyruğun çevresi, kalıbın et kalınlığına göre değişerek dört karış ve biraz daha fazlaydı. Birinci kalıbı içine almak üzere, kılıf görünümünde, içi tamamen oyuk, iki kalıp arasında belirli mesafe bırakacak şekilde daha geniş ikinci bir kalıp hazırlandı. İki kalıp arasındki mesafe her yerde yaklaşık olarak aynıydı, bir karış ya da biraz daha fazlaydı ve aradaki boşluğa bakır [tunç] dökülecekti. Bu ikinci dış kalıp da birinciyle aynı malzemeden yapılmış, ancak her tarafından demirle desteklenmişti. Dışından da dökülecek bakırın ağırlığını kaldırabilmesi ve kırılmaması için tahtalar, toprak ve taşlarla desteklendi.
>
> *[Bronz eritme ocakları]:* Bakırı eritmek için kalıbın çok yakınında ve iki yanında, sağlı sollu, iki sağlam ve dayanıklı ocak yapıldı. Ocakların içi ateşe dayanıklı tuğlalar iyi yoğurulmuş kalın kil tabakasıyla örülmüştü. Dışları ise tamamen büyük taşlarla örülmüş, kireç ve aynı işi gören başka malzemelerle güçlendirilmişti.

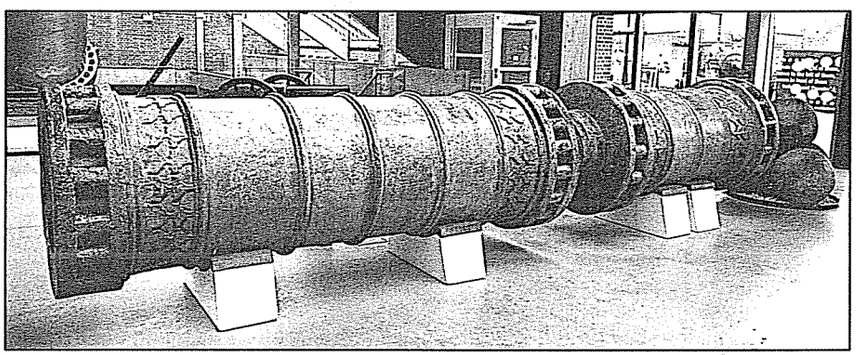
4 Ancak Kritovulos Urban adından söz etmemekte ve sadece "ustalar" demektedir.

5 Bizans karışı 23,4 cm olduğuna göre topun namlusunun uzunluğu 9,36 m, namlunun çapı 89 cm, barut haznesinin çapı 30 cm ve namlunun et kalınlığı 25 cm dir. Burada verilen ölçülere göre kabaca bir hesaplama yapıldığında topun bronz kısmının hacmı 10.675 dm^3 ve bronzun ortalama yoğunluğu 8.75 kg/dm^3 alınarak topun kütlesi de 96.287 kg olarak bulunur.

> *[Topun dökümü]:* Ocaklara, denildiğine göre 1.500 talant[6] bakır ve kalay kondu. Ağızları dışında altları, üstleri ve her tarafları tamamen örtülecek derecede büyük miktarda kömür ve ağaç kütükleri ile kaplandı. Ocakların çevresine, üç gün üç gece aralıksız hava üfleyerek aralıksız yanmayı sağlayan büyük körükler yerleştirildi ve sonunda bakır eridi, tamamiyle sıvı ve akışkan oldu. Daha sonra ocakların ağzını açarak, onu tamamen dolduracak, iç kalıbı içine alacak ve yukarıya doğru bir karış taşacak şekilde erimiş sıvıyı borularla iki kalıbın arasındaki boşluğa döktüler. Top işte böyle yapıldı. Daha sonra, metalin soğumasıyla iç ve dış kalıplar çıkarıldı, her tarafı kazınıp özenle eğelendi ve top ışıl ışıl parlamaya başladı. Topun yapılışı ve şekli işte böyleydi."

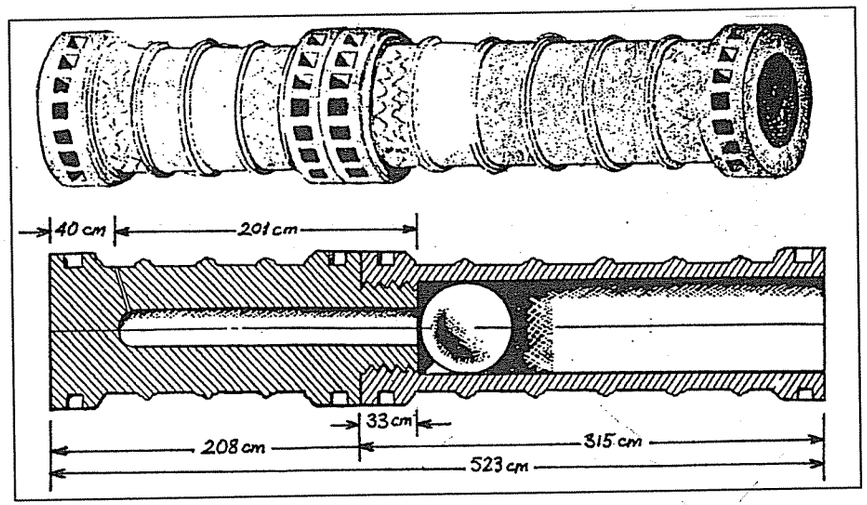
Fatih dönemine ilişkin ilginç bir tunç top

Fatih döneminde dökülmüş olan tunç toplardan çok azı günümüze ulaşmıştır. Bunlardan biri 1464'de dökülmüş olan ve dünyada başka bir benzeri bulunmayan, birbirine vidalanan iki parçadan oluşan çok büyük bir toptur. Top çok büyük olduğundan döküm sorunlarını aşabilmek için iki parça olarak dökülüp parçalar birbirine vidalanmıştır. Topun iki parçaya ayrılabilmesi taşınmasında da kolaylık sağlar. Bu top Padişah Abdülaziz tarafından Kraliçe Victoria'ya hediye edilmiş olup İngiltere'de Woolvich'deki Museum of Artillery [Topçuluk Müzesi]'nde bulunmaktadır. (Şekil – 6.25, 6.26 ve 6.27).

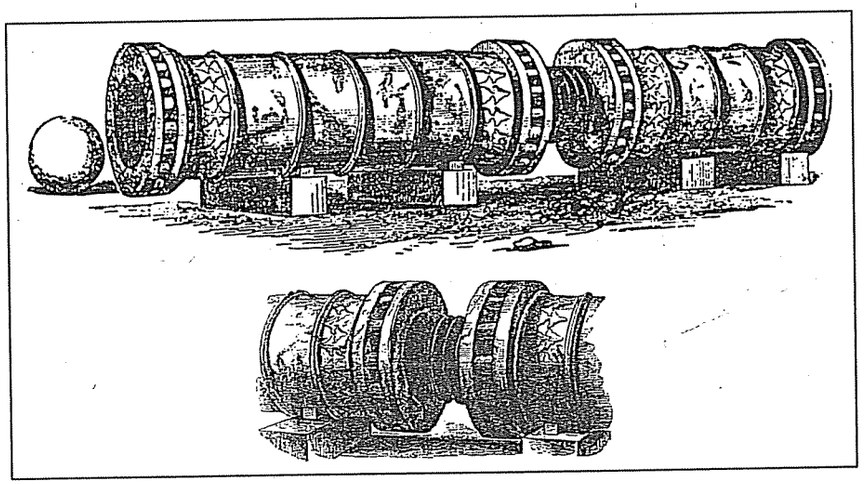


Şekil – 6.25: Fatih'in İngiltere'de Woolwich'deki Museum of Artillery [Topçuluk Müzesi]'nde sergilenen topunun fotoğrafı.

6 Roma döneminde kullanılan 1 talant = 34 kg dır. Buna göre topun ağırlığı 51 ton olmaktadır ki bu miktar hesaplanan hacma ve kütleye göre fazla değildir..



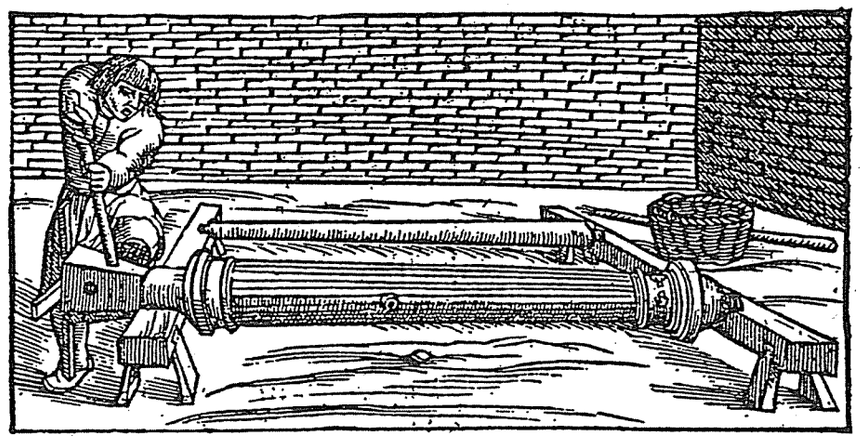
Şekil – 6.26: Topun genel görünümü ve kesiti. Namlu çapı 63,5 cm barut haznesi çapı 24,8 cm ve yiv içinde diş çapı 35,6 cm dir. Topun çemberleri üzerindeki delikler iki parçanın birbirine vidalanması sırasında içlerine ağaç kaldıraçlar sokarak çevirmek içindir. Topun ağırlığı yaklaşık bir hesaplama ile 13 ton dolayındadır.



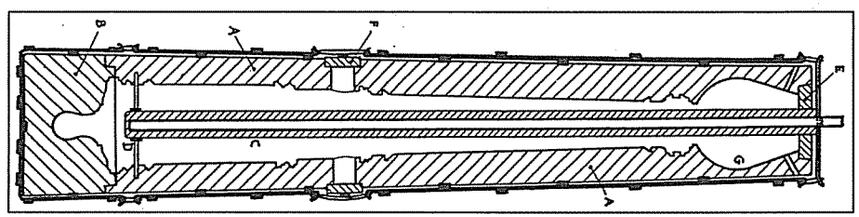
Şekil – 6.27: Topun Kraliçe Victoria'ya hediye edilmesi üzerine 1868'de yapılmış olan ve özellikle vidaları gösteren çizimleri. [Lefroy, s. 274 – 277].

XVI. yüzyılda Avrupa'da top dökümü

XVI. yüzyılda top kalıplarının yapımı ve topların dökümü konusunda Vannoccio Biringuccio'nun 1540'da yayınlanmış olan *De La Pirotechnia* adlı kitabında bilgi verilmiştir. (Şekil – 6.28 ve 6.29). XIX. yüzyıla gelinceye kadar aradan geçen yüzyıllara rağmen top dökümünde temel bir değişikliğin ortaya çıkmadığı görülmektedir.



Şekil – 6.28: Top kalıplarının hazırlanması. [Biringuccio, s. 235].

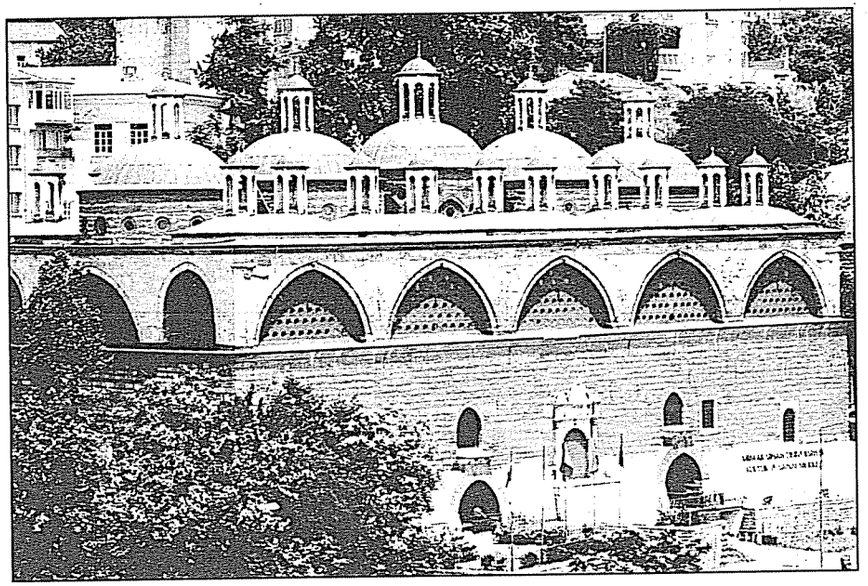


Şekil – 6.29: Biringuccuo'nun anlatımına göre çizilmiş olan tamamlanmış bir top kalıbının kesiti. A = ana kalıp, B = dip kısmı kapatan kalıp parçası, C = namlu boşluğunu oluşturan iç kalıp, D = iç kalıbı destekleyen demir çubuk, E = tepeyi kapayan kil levha, F = tuğla, G = döküm sırasında besleme haznesi. Kalıp dıştan demir çemberlerle kuvvetlendirilmiştir ve kalıp döküm sırasında dikey konumda tutulur. [Biringuccio, s. 452].

XVII. yüzyılda İstanbul'da top dökümü

İstanbul'un fethinin hemen ardından top dökümüne başlandığı anlaşılmaktadır. İstanbul'da bulunan ve binaları

günümüze kadar ulaşmış olan Tophane-i Âmire'nin ne zaman kurulduğu ve ilk biçiminin nasıl olduğu konusunda kesin bir bilgi mevcut değildir. Buradaki yapının zaman içinde değişikliklere uğrayarak günümüze ulaştığı anlaşılmaktadır. Ayrıca, binanın içindeki fırınlar da ortadan kalkmış olduğundan bu konuda da bilgi edinmek mümkün değildir. (Şekil 6.30 ve 6.31).



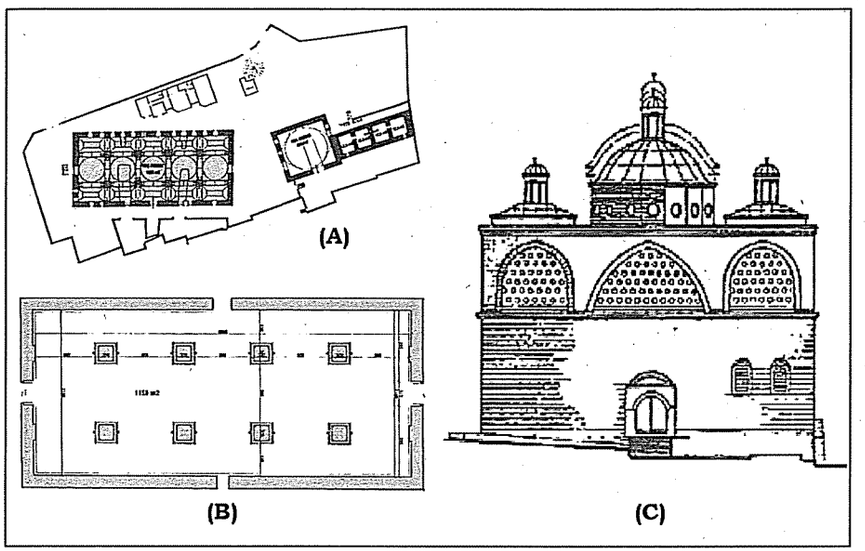
Şekil – 6.30: Tophane'nin ana binasının günümüzdeki görünümü.

XVII. yüzyılda yaşamış olan ünlü gezgin Evliya Çelebi (1611 – 1682) Seyahatnâme'sinde İstanbul'u anlatırken "Topçular Ocağı"ndan, Tophane'de yapılan ve kendisinin de bizzat izlediği anlaşılan top dökümünden ayrıntılı bir biçimde söz etmektedir. Evliya Çelebi'nin top dökümüne ilişkin olarak anlattıkları aşağıda günümüz diline çevrilerek ve özetlenerek verilmiştir.[7]

"*Tophane (Tophane-i Âmire):* Deniz kıyısından yüz adım ilerde, yüksek bir tepenin eteğinde, dört tarafının duvarları kale gibi sağlam

7 Evliya Çelebi, *Evliya Çelebi Seyahatnâmesi'nden Seçmeler: I*, Hazırlayan Atsız, İstanbul 1971, s. 108 – 115.

bir binadır... Onun ortasında yine dört köşe, kırk arşın böyunda yüksek bir duvar vardır ki üzeri ince tahta ile örtülüdür. Kubbenin üzeinde büyük bacalar vardır; duman buradan dışarı çıkar. Bu ince tahtalı dam üzerinde adam gezecek yollar vardır. Damın üzeri merdiven merdivendir. Bu damın tâ tepesinde ve dört tarafında yüzlerce fıçı ile su hazırdır. Tunç eritilirken dama ateşten bir kıvılcım isabet ederse damda gezen adamlar o su ile ateşi söndürür,



Şekil – 6.31: (A) Tophane'nin genel yerleşim planı, (B) ana binanın zemin planı ve (C) ana binanın batıdan görünümü.

Top kalıbı dolapları: Bu tophanede yüzlerce dolap vardır ki onlar da top kalıpları yapıp hazır ederler. Kırk elli okkalık gülle kalınlığında olması için demir millere kır ellişer bin yumurta ile karıştırılıp macun haline getirilmiş çamuru iplerle sarıp top kalıplarının içine koyarlar. Aşağısını yine demir sapanlarla tutarlar. Çünkü kalıbın içine tunç dökülüp top olunca yumurta ile karışık mili çıkarıp topu alırlar.

Tunç fırını: Bu fırın Tophane'nin iki yerinde yapılmıştır, Dört tarafı ateş taşıdır. Çünkü başka taşın bu şiddetli ateşe dayanma kabiliyeti yoktur. Bu yeşil taş Adalar'dan çıkar.[8] Ocağın altı boştur ve üstü kubbedir. Bu kubbelerin [fırınların] içine kırk ellişer bin kantar bakırı ve maya için de eskiden yapılmış olan topların kırıklarını yerleştirip kubbelerden dışarı aralıkta da nice bin kantar kalay peyda

8 Bunların neredeki ve hangi adalar olduğu belli değildir.

ederler.[9] Kâtipler de ne kadar bakır ve kalay hasıl olduğunu deftere kaydederler Çünkü top kalıpları bakıra göre hazırlanır.

Top kalıbı yerleri: Bu tunç kubbelerinin önündeki çukurların içine, ağızları yukarı olmak üzere top kalıplarını koyarlar. Eğer balyemez top ise her ocağa yirmi kalıp koyarlar ki yirmi top eder. Eğer klombrune topu ise yirmişer kalıp, şâhî top ise yüzer kalıp, içine adam sığar şayka topları ise beşer kalıp koyup ağızlarını Kâğıthane balçığı ile sıvarlar. Tunç eriyecek kubbenin ağzından kalıplara kadar bostancıların su yollarına benzer yollar yaparlar. Tunç kubbelerinin dört tarafında çam odunları dağlar gibi hazır durur. Bu odunlar bir yıl önce kesilip birer kulaç boyunda hazırlanır ve iki ucu mekiğe benzer bir tarza konulduktan sonra kurutulur.

Top dökümü: Sonra top dökecekleri gün kalfalar, ustalar, Dökümcübaşı, Topçubaşı, Vardiyanbaşı, elinde kum saati olan muvakkit, tophane imamı, müezzinleri, duacıları toplanıp dua ve övmelerle Allah, Allah dedikten sonra iki fırına da ateş verilir. Muvakkit saat tutarak tam bir gün, bir gece ateş yakarlar ve çamları tunç kubbesinin iki taraf deliklerinden durmaksızın atarlar. Sonra dökümcüler ve ateş atıcılar elbiselerini çıkarıp bir nevi peçeli külâhlar giyerler ki yalnız gözleri görünür. Diğerleri de keçeden elbiseler giyerek hizmet ederler. Yirmi saatten sonra ateşin yanına varmak kabil olmaz Devletin ileri gelenleri ile duası makbul şeyhlere haber salınıp bunlar geldikten sonra Tophane'nin kapıları kapatılır. Ustalar toplanıp ağaç küreklerle yüzlerce kantar çubuk kalayları tunç denizine atarlar. Dökümcübaşı oradakileri hitaben «Sultanım! Dîn-i mübîn aşkına zekât ve sadakanızdan altın, kuruş ne olursa şu tunç denizine bırakın» der. Veziriazam, Hazinedar ve öteki vezirler bir kaç kese altını Dökkümcübaşı'ya teslim ederler, O da herkesin gözü önünde «Bismillâh» deyip tunç denizine atar. O an, ince uzun çamdan gemi serenlerini tunç denizine sokup kalay ve altın kuruşları karıştırırlar ve direkler harap oldukça yeni direkler getirirler. Tunç denizinin yüzü kaymaklanmaya başlayınca ustalar, tunç denizinin kıvama geldiğini bilip ateşi çoğaltırlar ve Tophane'de bir damla su bulunmamasını tembih ederler. Çünkü tunç akarken bir damla su kokusu duysa derhal yollar parça parça olup bütün oradakilerin ölümüne sebep olur. Sonra kalıp ocakları kenarında ve iki tarafta kırkelli kurbanlık koyun hazırlanıp orada bulunanlar ayağa kalkar. Tophane duacısı hazır olur. Muvakkit saatiyle ocak başına gelip tuncun ağzını açmaya yarım saat kalınca haber verir. Duacı duaya başlar. Hazır bulunanlar gönül safiyeti ile âmin derler. Herkes Allah'a yönelerek ağlamaya başlar. Çünkü gayet korkunç ve tehlikeli ölüm yeridir ki nice ustaları mahvetmiştir. Tunç denizi ateşinin tamamiyle kesileceğinin vaktini muvakkit bildirir. Ustalar keçe elbiseleriyle kazan başına gelip çapalarıyla Allah, Allan diyerek kapağı açtıklarında tunç ateş gibi akmaya başlar. Yüz adım ilerde bulunan kimselerin bile yüzlerine ve elbiselerine alev yapışmış gibi olur. Bazı vezirler üzerlerine beyaz çarşaf alıp korkularından ezân-ı Muhammedî'ye başlarlar. Tunç yokuş aşağı akıp top kalıbına dolar. Balyemez topunun dolması yarım saat sürer. Kalıp dolunca keçe ile sarılmış bir nevi yağlı çamurla yolu kapatıp bir başka topun yolunu açarlar... Toplar bir hafta kalıbın içinde soğur ve sonra çıkarırlar. Bütün sanatkârlar kuyumcularla topları parlatırlar, sonra usta doğramacılar topları, topların şefkatli analarıymış gibi kundaklayıp savaşa hazır ederler. Bu Tophane içinde top arabası yapanların da ayrıca yeri vadır. Karadeniz Boğazı'nda Sarıyar kasabası dağlarından gelme top kalıbı çamurlarını ağaç kılıçlarla mayalandıranların başka yerleri vardır. Top kalıpları yapılan ve «top kalyası» denilen yerler yine başkadır. Velhasıl büyük bir yerdir ki dillerle anlatılamaz."

9 Yer ve zamana göre değişmekle birlikte genellike kantar 44 okkaya eşit olan bir ağırlık ölçüsüdür. Bir okka 1,293 kg olduğuna göre bir kantar 56,89 kg dır. Burada fırına konulduğu ileri sürülen 40 – 50.000 kantar bakırın karşılığı 2.276 – 2.845 ton arasındadır.

Mühendishâneler ve top dökümü

XVIII. yüzyılda ve özellikle ikinci yarısında genellikle Fransa'dan gelen subaylar eliyle topçuluğun ıslahı konusunda teknoloji aktarılmaya çalışılmıştır. Maceralı bir yaşamdan sonra 1729'da Osmanlı hizmetine giren Claude Alexander Comte de Bonneval (1675 – 1747) daha sonra Müslüman olarak Ahmed adını almıştır. "Humbaracı" lakabıyla anılan Ahmed Paşa Humbaracı Ocağı'nı kurmuştur. Daha sonra bir Fransız subayı olan François Baron de Tott (1733 – 1793) Topçuluğu ıslah etme konusundaki çalışmaları yanında 1773'de Mühendishâne-i Bahrî-i Hümâyun [İmparatorluk Deniz Mühendislik Okulu]'nun kurulmasına katkıda bulunmuştur. Daha sonra bir başka Fransız topçu subayı Charles Alexandre Louis Rouxel de Saint Rémy (1746 – 1800) 1785'de on kişilik bir ekiple gelmiş, top dökümü konusunda başarısız olması üzerine 1787'de geri çağırılmıştır. Bir süre sonra 1795'de kara ordusuna teknik eleman yetiştirmek üzere Mühendishâne-i Berrrî-i Hümâyun [İmparatorluk Kara Mühendislik Okulu] kurulmuş ve top dökümhanesi olan Tophâe-i Âmire de buraya bağlanmıştır.

Mühendishâne-i Berrrî-i Hümâyun'un Başhocası İshak Efendi (Şekil – 6.32) tarafından 1830'lu yılların başında muhtemelen ders kitabı olarak kullanılmak üzere top dökümüne ilişkin bir kitap yayınlanmıştır. *Usûlü's-Siyâga*

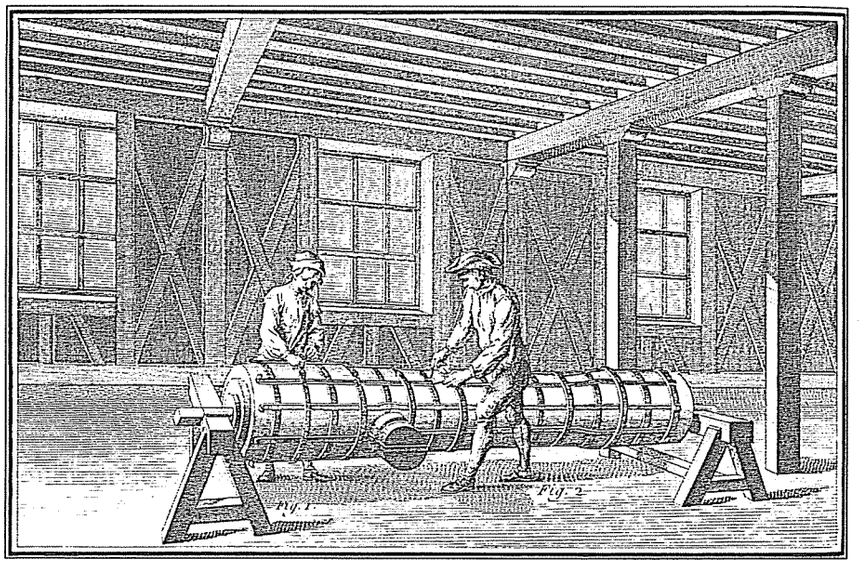
adıyla anılan[10] (Şekil – 6.33) bu kitabın girişinde Tophâne-i Âmire'de yararlanılması için "fenn-i mezbura dair kütüb-i efrenciyeden [Fransızca kitaplardan] lisan-ı Türkîye tercüme" edilerek derlendiği belirtilmektedir. Geniş olarak yararlanılmış olan kaynaklardan biri Denis Diderot tarafından 1751 – 1772 yılları arasında yayınlanmış olan *Encyclopédie*'dir. (Şekil – 6.34 ve 6.35).

Şekil – 6.32: Beşhoca İshak Efendi'nin temsili bir resmi.

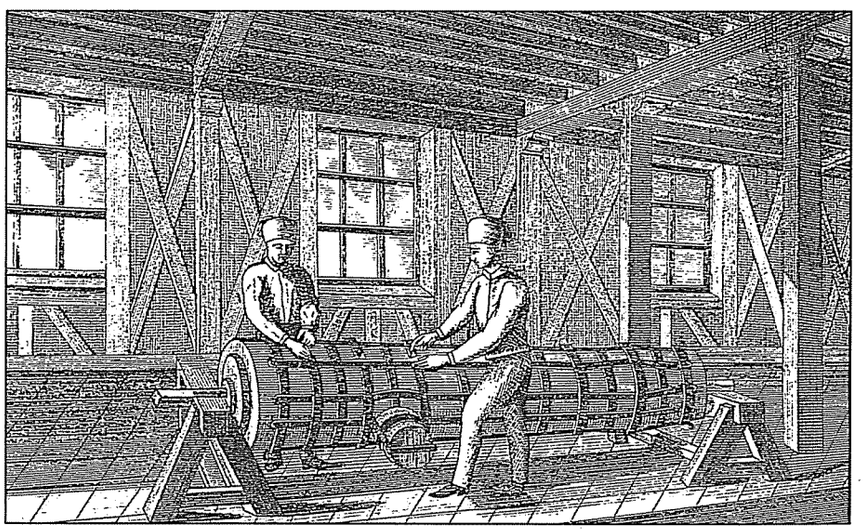
Şekil – 6.33: *Usûlü's-Siyâga*'nın başlangıç sayfası.

Kitap iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısım (s. 2 – 44) ateşli silâh ve topların yapımında kullanılan metal ve alaşımlara ilişkindir. Bu kısmın birinci bölümü demire ilişkin olup burada demir metali, dökme demir, dövme demir ve çelik ele alınmıştır. İkinci bölüm ise tunça ait olup burada tunç, bakır, kalay, kalay ile bakırın bileşimi ve tunç hurdalarından bakırın ayrılması anlatılmıştır. Kitabın ikinci kısmı (s. 45 – 167) top dökümüne ilişkin olup kalıpların yapılması, fırınlar, döküm ve dökümden sonraki işlemler çok ayrıntılı olarak anlatılmıştır. (Şekil – 6.36 ve 6.37).

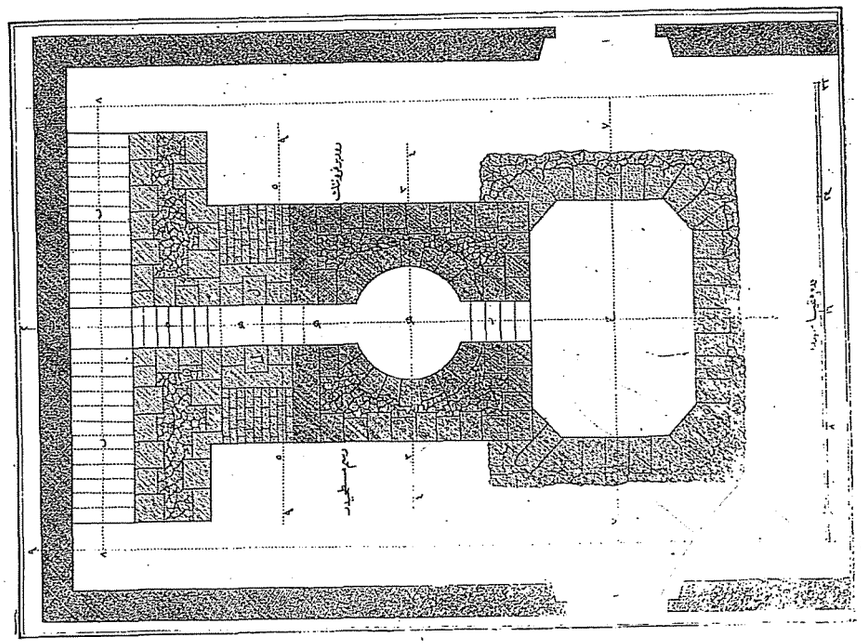
10 İshak Efendi (Başhoca), *Usûlü's-Siyâga*, [Dârü't-Tıbâatü'l-Âmire], İstanbul [1830 – 1833 arası], 167 s. + 60 levha. Levhalar Kazancıoğlu Rafael tarafından bakır üzerinie oyma gravür tekniği ile hazırlanmıştır.



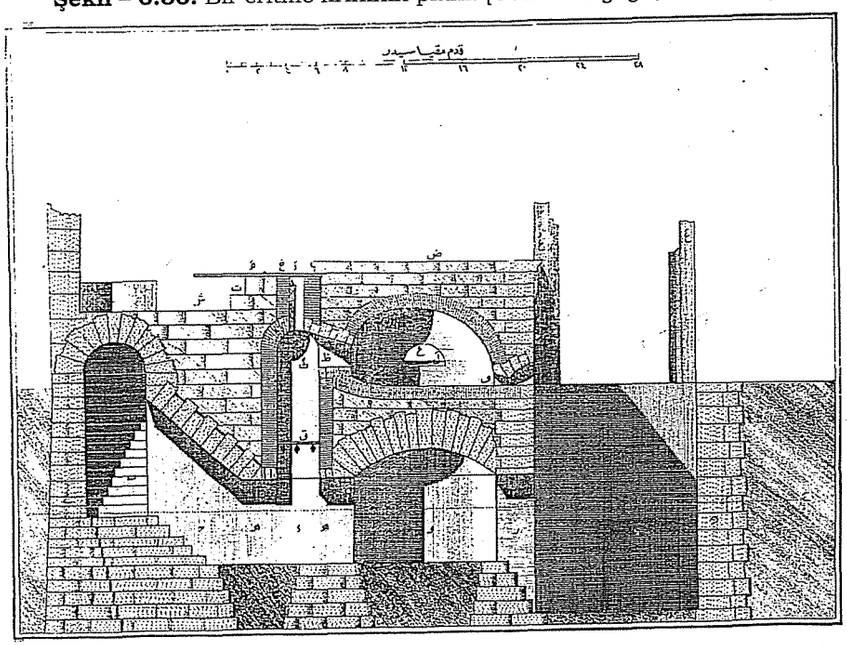
Şekil – 6.34: Diderot'nun *Encyclopédie*'sinde top kalıplarının hazırlanmasına ilişkin resim. (1763). [Diderot, I, Plate 112].



Şekil – 6.35: Diderot'nun *Encyclopédie*'sindeki resmin *Usûlü's-Siyâga*'daki uyarlanmış biçimi. [*Usûlü's-Siyâga*, Levha 6]. Resim aynen kopyalanmış olmakla birlikte orijinal resimdeki şapkalar fes ile değiştirilmiştir.



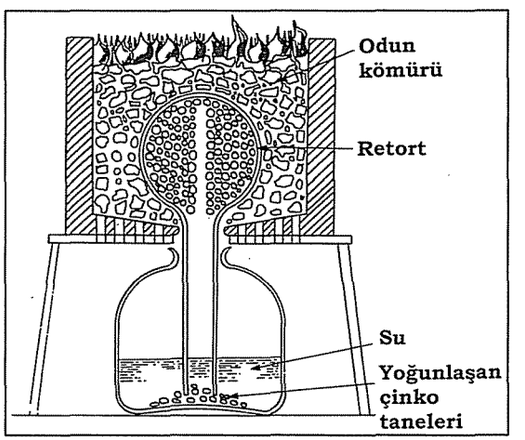
Şekil – 6.36: Bir eritme fırınının planı. [*Usûlü's-Siyâga*, Levha 16].



Şekil – 6.37: Planı verilen eritme fırınının kesiti. [*Usûlü's-Siyâga*, Levha 18].

ÇİNKO VE PİRİNÇ

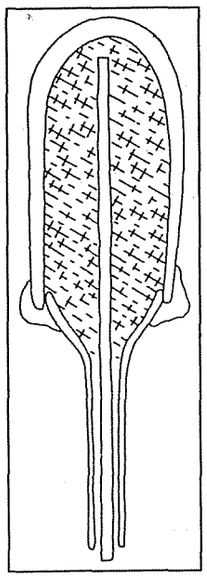
Çinko doğada başlıca *smitsonit* [smithsonite veya *kalamin*, $ZnCO_3$], *hemimorfit* [$Za_4S_2O_7$ $(OH)_2.H_2O$] ve *sfalerit* [ZnS] mineralleri biçiminde bulunur. Kalaminin kavrulmasından elde edilen çinko oksit [ZnO] çok eski çağlardan beri göz hastalıklarının tedavisinde kullanılmıştır. Metalik çinkonun eski çağlardan beri bilinmesine karşılık – ki büyük olasılıkla fırınların içinde tesadüfen birikmişti – çinkonun kullanımı XVIII. yüzyıla kadar çok sınırlıydı. Çinko ilk kez Ortaçağ'da çinko karbonatın kavrulmasından elde edilen çinko oksidin kömürle indirgenmesi ile elde edilmiştir. Çinko cevherlerinden kolaylıkla metalik duruma indirgenir fakat 930 °C de kaynadığından kolaylıkla buharlaşarak fırınlardan kaçar ve çoğu kez yeniden oksit oluşturur. Bu nedenle çinko elde edilmesi için özel fırın ve sistemler geliştirilmiştir. (Şekil – 6.38, 6.39, 6.40 ve 6.41).



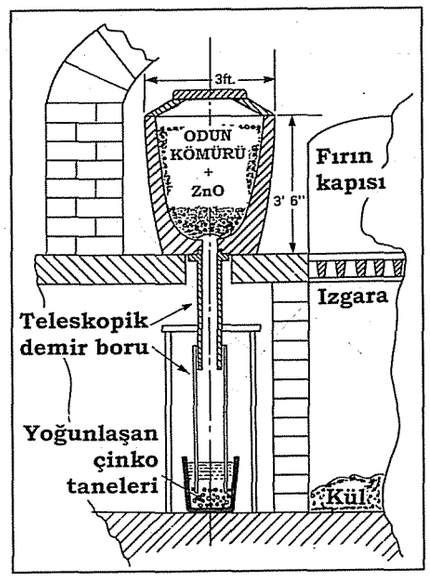
Şekil – 6.38: XIII. yüzyıla ilişkin Hindu elkimya kitabı *Ras Ratnasammuchchya*'da tanımlanan "tyryakpatnayantra" yani "aşağı düşerek damıtma" yöntemi ile çinko elde edilmesi. Retort lak, beyaz hardal, kiraz çekirdeği, reçineler, boraks, tuz ve çinko cevheri ile doldurulmaktadır. [Darling, s. 88].

Bir bakır – çinko alaşımı olan *pirinç* eski Yunan, Roma, Hint ve Çin'de bilinmekle birlikte kullanımı ancak XVIII. yüzyılın sonlarından itibaren büyük bir artış göstermiştir. İ.Ö. VI. yüzyıla ilişkin bir Apollo heykelinde bakır yanında % 6

oranında çinko bulunduğu ve İ.Ö. III. ve IV. yüzyıllara ilişkin bazı örneklerin de % 12 oranında çinko içerdiği saptanmıştır. Romanya'daki Dacia'da yapılan kazılarda bulunan Roma dönemine ilişkin bir heykelcikte % 27,5 oranında çinko bulunmuştur.



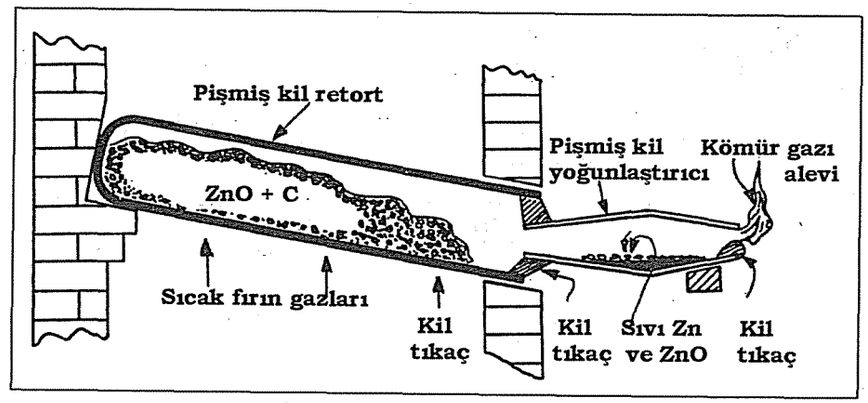
Şekil – 6.39: Önemli miktarda metalik çinko XIV. yüzyılda Hindistan'ın Rajasthan bölgesindeki Zawar'da şekilde görülen tipte çok sayıda kil retort kullanılarak damıtma yoluyla elde edilmiştir. Çinkonun Avrupa'da bilinmediği XVI. yüzyılda çinko üretimi Hindistan'da başlıca sanayi dalıdır. Zawar'daki madenler 1760'da tam üretim içindedir ve bu durum XIX. yüzyıl başlarına kadar sürmüştür. [Darling, s. 88].



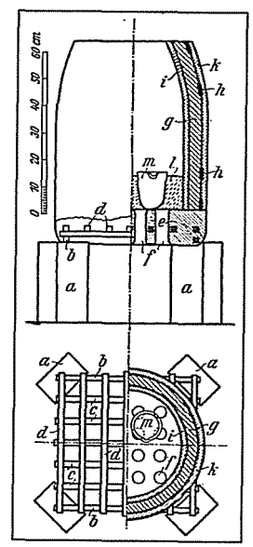
Şekil – 6.40: Çinko elde edilmesi için William Champion tarafından 1738'de Bristol'de geliştirilen yöntem. Burada Hindu yönteminden farklı olarak retort yalnız kavrulmuş kalamin ($ZnCO_3$) cevheri [ZnO] ve odun kömürü karışımı ile doldurulmaktadır. [Darling, s. 89].

Roma'da Augustus döneminde (İ.Ö. 27 – İ.S. 14) geliştirilen yönteme göre bakır külçeleri çinko oksit ve odun kömürü ile birlikte ısıtılarak sementasyon yoluyla pirinç elde edilmiştir. Bu yöntem XIX. yüzyıla kadar kullanılmıştır. Daha

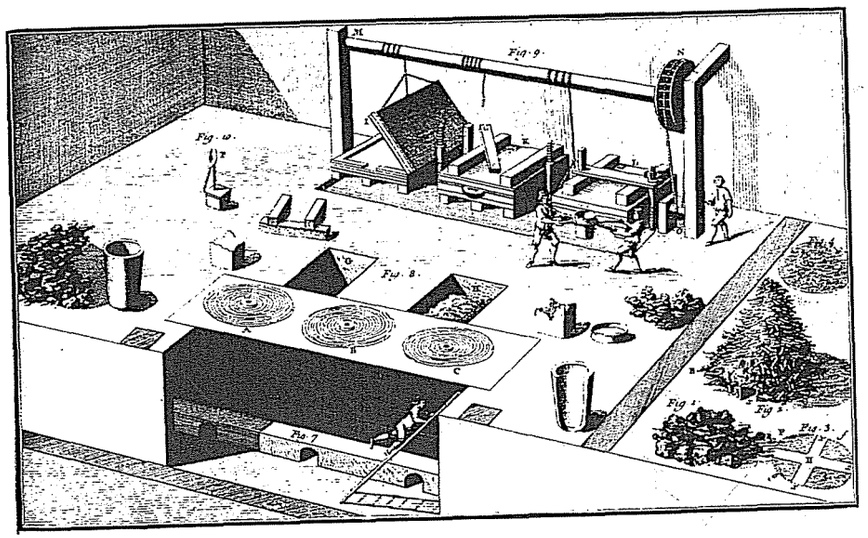
sonraları çinkonun metalik olarak büyük miktarlarda elde edilmesinin ardından pirinç elde edilmesinde önce bakır eritilip bunun içine çinkonun katılması yöntemi geliştirilmiştir. Bu durumda çinko bakır tarafından absorplandığından buhar basıncı düşer ve buharlaşarak kaçamaz. (Şekil – 6.42 ve 6.43).



Şekil – 6.41: Çinko elde edilmesi için 1807'de Abbé Dony tarafından bulunan yatay retort yöntemi. Basit ve ekonomik olan bu yöntem 1820 – 1940 arasında Avrupa ve Amerika'da kullanılmıştır. [Darling, s, 90].



Şekil – 6.42: Theophilus'un anlatımına göre çizilen XII. yüzyıla ilişkin pirinç elde etmek için rüzgâr fırını. [Thelophilus, s. 242].



Şekil – 6.43: XVIII: yüzyılda Fransa'da bir pirinç dökümhanesi. Burada sementasyon yoluyla kalamin ve bakırdan piriç elde edilmektedir. Önce çinko minerali kalamin veya hemimorfit kavrularak safsızlıkları giderilir ve çinko okside dönüştürülür. Daha sonra bakır külçeleri, kavrulmuş çinko minerali ve odun kömürü gevşek bir yığın yapılarak 8 – 12 saat ısıtılır. Bu sırada oluşan çinko bakır tarafından absorplanır. Daha sonra bakır külçeleri eritme potasına alınıp 12 saat ısıtılarak eritilir ve ardından erimiş pirinç döküm potalarına alınarak kare biçimindeki kalıplara kalın bir levha oluşturacak biçimde dökülür. Daha sonra bu levhalar daha küçük parçalar halinde kesilerek işlenirler. [Diderot, I, Plate 142].

BÖLÜM – 7

DEMİR VE ÇELİK

DEMİR VE ÇELİK

Eski çağlarda birer döneme adlarını veren bakır ve alaşımı tunç bu dönemlerde uygarlık için belirleyici ve temel metal olmuşlardır. Ancak bunlar kıt ve pahalı olduklarından genellikle alet ve silâh yapımında kullanılmışlardır. Daha sonraları demir bulununca bakır ve tunç önemini kaybetmiş ise de Ortaçağ sonrasında tunç top ve çan dökümü için yeniden önem kazanmıştır.

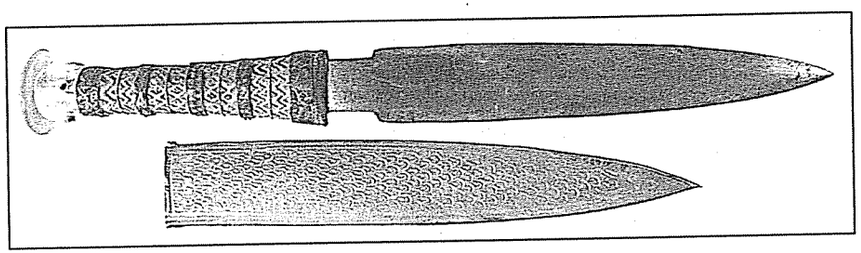
Ortaçağ'dan itibaren demir üretimi yavaş da olsa giderek artmaya ve bunun sonucunda silâh ve alet yapımı dışındaki kullanım alanları da genişlemeye başlamıştır. Bununla birlikte demir ve çelik üretimi sınırlı olup bunlar pahalıdır. Bu nedenle araç ve gereçlerin yapımında kullanılan temel malzeme ahşap olarak kalmıştır. Demir malzeme burada çivi ve vida gibi ahşabı birleştirme araçları ile mil yatakları gibi sınırlı bir kullanıma sahiptir. XVIII. yüzyıl ortalarında Sanayi Devrimi başladığında aynı durum sürmekte olup ilk tekstil makineleri benzer biçimde ahşaptan yapılmıştır. XVIII. yüzyıl sonlarına doğru demir üretiminde odun kömürü yerine kok kömürünün kullanılmasının getirdiği üretim patlaması ve ardından geliştirilen çelik üretim yöntemleri XIX. yüzyılı bir demir ve çelik yüzyılı yaptı. Artık her türlü araç, gereç ve makine demir ve çelikten üretildiği gibi inşaat işlerinde de geniş ölçüde demir ve çelik kullanılıyordu. XIX. yüzyılın ortalarından itibaren toplar da demirden yapılmaya başlandığından tunç ve bakır bir dönem önemini yitirdi. XIX. yüzyılın sonlarında elektriğin üretiminin ve kulla-nımının yaygınlaşması üzerine bakır iletken olarak yeniden önem kazandı. XX. yüzyılın başlarından itibaren de demir ve çeliğin ardındaki sırayı alüminyum aldı.

ESKİÇAĞ'DA DEMİR

Demirin doğada bulunuşu

Demir doğada genellikle *hematit* [Fe_2O_3], *magnetit* [Fe_3O_4], *limonit* [hidrate demir oksitler], *siderit* [$FeCO_3$] ve *pirit* [FeS_2] gibi cevherleri biçiminde çok yaygın olarak bulunan bir metaldir. Demir başlangıçtan günümüze oksitli demir cevherlerinin kömür ile indirgenmesi yoluyla elde edilir. Demirin sülfürlü cevheri pirit demir elde edilmesi için uygun olmadığından başlangıçtan beri kullanılmamıştır. Daha önceki tarihlere ilişkin bazı tekil örneklere rastlanmasına rağmen demir ancak İ.Ö. 1300'lerden sonra yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Demir yeryüzünde metalik halde bulunmamakla birlikte geçmişte dünyaya çarpan meteorlardan kaynaklanan ve *meteorik demir* adı verilen metalik demir parçalarına rastlanır. Bunlar geçmişte insanlar tarafından bulunmuş ve kullanılmıştır. (Şekil – 7.1).



Şekil – 7.1: Eski Mısır Firavunu Tutankamon'un mezarında 1925'de yapılan kazılarda mumyasının yanında bulunmuş olan demir hançer. Paslanmadan kalmış olması ilgi çekmiş ve yakın dönemde yapılan analizi sonucunda % 10 nikel ile % 0,6 kobalt içeren meteorik demir olduğu ve alaşım olması nedeniyle paslanmadan kaldığı anlaşılmıştır.

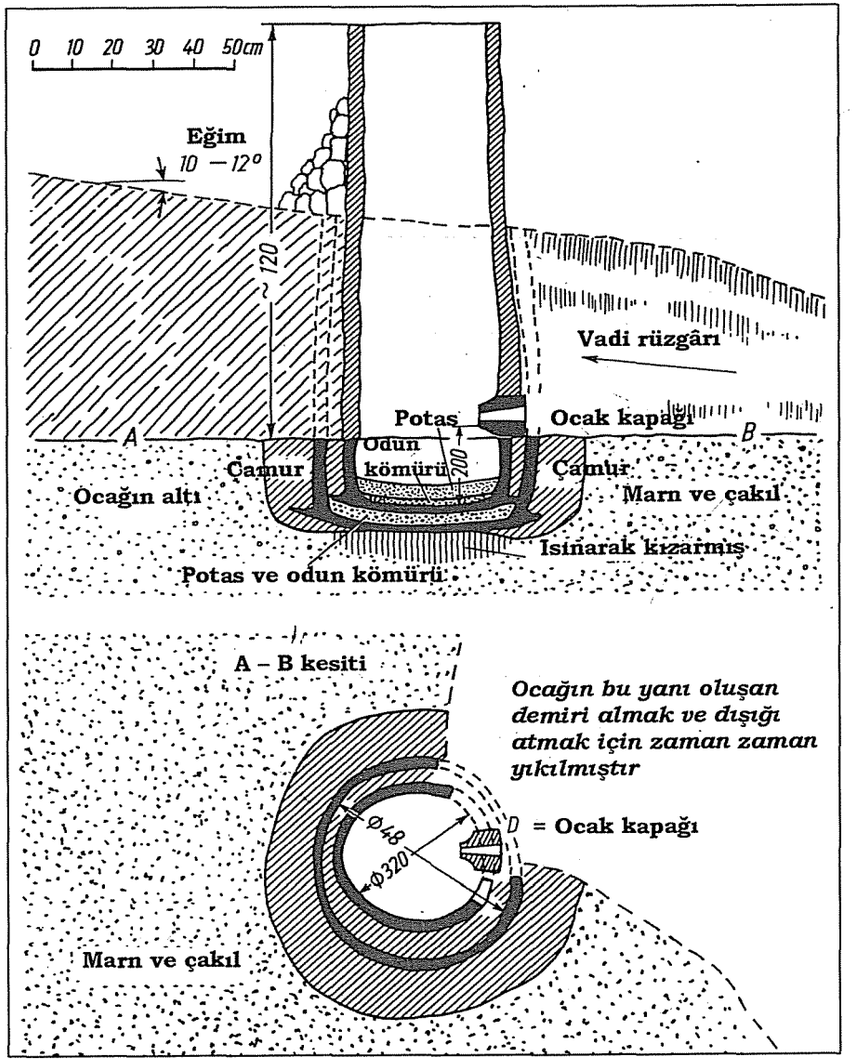
Demir ve çelik

Demirin erime noktası 1535 °C olduğundan elde edilmesi sırasında fırının sıcaklığı buna ulaşamazsa indirgeme işlemi gerçekleşmekle birlikte erimiş halde demir elde edilemez, bunun yerine sünger görünümünde bir kütle ele geçer. Bu sıcaklığa ulaşabilen fırınlar yapılıncaya kadar demir süngerimsi bir kütle halinde elde edilmiş ve bu kütle bir

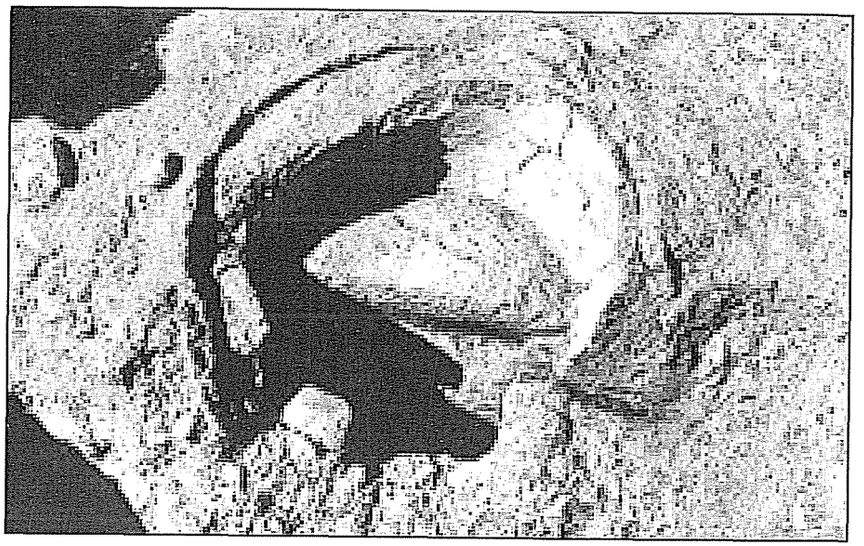
ocakta tekrar tekrar ısıtılıp dövülerek külçe haline getirilmiştir. Erimiş halde demir elde edebilen fırınlar ancak XV. yüzyılda yapılabilmiştir. Demirin elde edilmesi işlemi sonucunda sıvı olarak ele geçen demire *dökme (pik) demir* adı verilir. Dökme demir sementit biçiminde % 2,0 – 4,5 dolayında karbon yanında mangan, fosfor, silisyum ve kükürt içerir. Dökme demir sert ve kırılgan olup dövülemez ve ancak bir kalıba dökülerek biçimlendirilebilir. Bunu işlenebilir bir nitelik ve kırılgan olmayan bir sertlik kazandırabilmek için içindeki karbon oranın azaltılması gereklidir. Buna göre, % 0,15'den daha az karbon içeren demire *yumuşak çelik* veya *dövme demir*, % 0,15 – 0,30 arasında karbon içeren demire *orta çelik* ve % 0,30'dan fazla karbon içeren demire de *sert çelik* adı verilir. Çeliğin içine krom, nikel, mangan ve molibden gibi metallerin katılması sonucunda alaşımlı çelikler elde edilir. Demir metalurjisinin en önemli sorunu elde edilen dökme demir içindeki fazla karbonun giderilerek bunun çelik veya dövme demire dönüştürülmesidir.

Eskiçağ'da demir elde edilmesi

Demirin ilk kez Anadolu'da elde edilmiş olduğu anlaşılmaktadır. (Şekil – 7.2 ve 7.3). Alaca Höyük'de yapılan kazılarda Erken Tunç II Çağı'na (İ.Ö. 2500 – 2300) ilişkin bir mezarda demir bir kama bulunmuştur. Bu dönemde demirin altından beş kat daha değerli olduğu bilinmektedir. Orta Tunç Çağı'nda (İ.Ö. 1950 – 1700) Asur'lu tüccarlar Anadolu'da Kültepe (Kaniş) yakınlarında bir ticaret kolonisi kurmuşlardır. Burada başlıca bakır, gümüş, kurşun ve demir ticareti yapılmıştır. Demirin giderek yaygınlaşması demirden yapılan eşya, alet ve silâhların herkesin bunlardan edinebileceği kadar ucuzlamasıyla sonuçlandı. Demir araçlar yeni alanların tarıma açılması ve bunun sonucunda nüfusun büyük oranda artmasına neden oldu. Tunç Çağı'nda silâhlar tunçtan yapıldığından bunlara sahip olabilenler aynı zamanda güce de sahip olduklarından bunlar tarafından tiranlık yönetimleri kurulmuştur. Demirin ucuzlaması ve herkesin demirden yapılmış silâhlara sahip olması sonucunda tiranlık yönetimleri yıkılmış ve bunların yerine demokratik kent yönetimleri kurulmuştur. Bu nedenle demir *demokratik metal* olarak da adlandırılır.

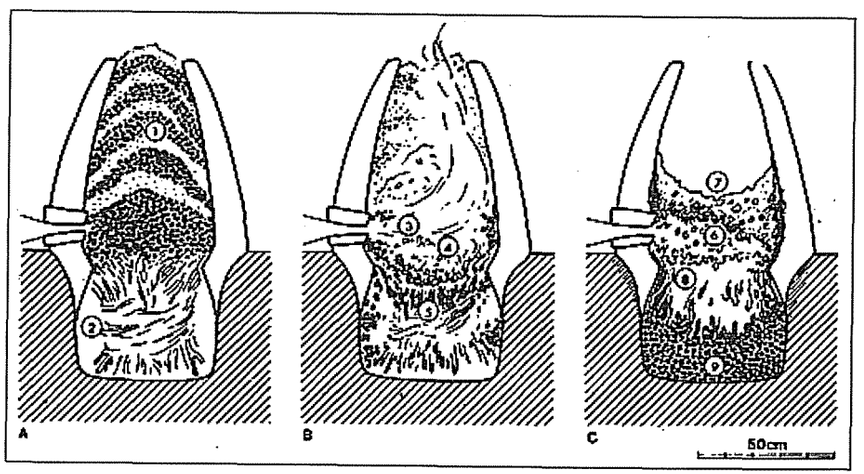


Şekil – 7.2: Yarı göçebe topluluklar için demirin büyük önemi vardı. Bunlar av ve savaş silâhları ile tarım araçları yapmak için demiri işliyorlardı. Orta ve Yakındoğu'daki devletler için demir altından daha değerliydi. Yukarı Fırat Bölgesi'nde yaşamış toplumların demiri çok eskiden beri kullandıkları ve İ.Ö. XVIII. yüzyılda Toros Dağları'ndan çıkarılan demirin başka ülkelere satıldığı bilinmektedir. Yukarıda çizimi verilen demir fırını 1963'de Kâhta'daki Eski Kale'de (Nymphaios kıyısındaki Arsameia) yapılan kazılarda bulunmuştur. Bir yamaca kurulmuş olan fırınlar vadi rüzgârlarından yararlanacak biçimde düzenlenmiştir ve yapılarından aynı zamanda körükle de çalıştırıldıkları anlaşılmaktadır. [Roesch, s. 18].

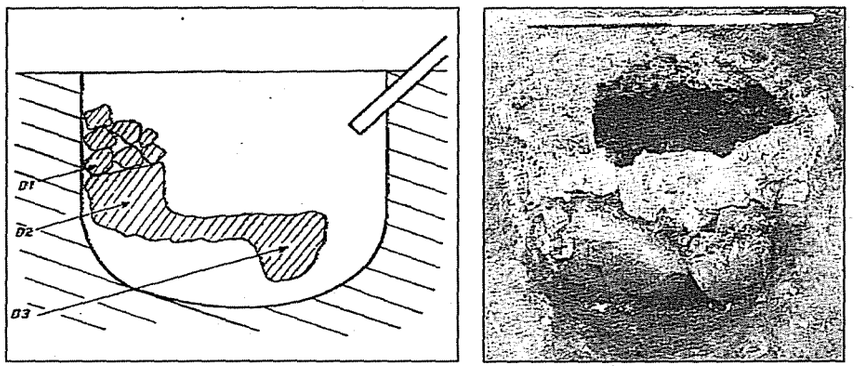


Şekil – 7.3: Kâhta'da bulunan demir fırınının kazıda bulunan kısmı. [Roesch, s. 18].

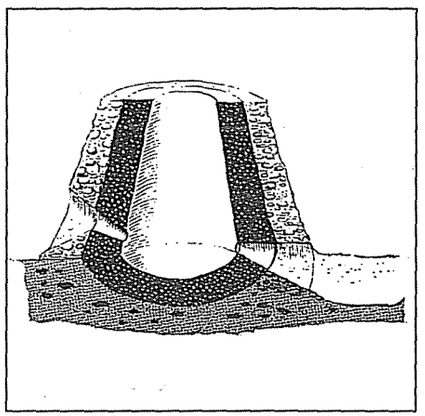
Eskiçağ'da demir elde edilmesine ilişkin çeşitli fırın örnekleri (Şekil – 7.4, 7.5, 7.6 ve 7.7).



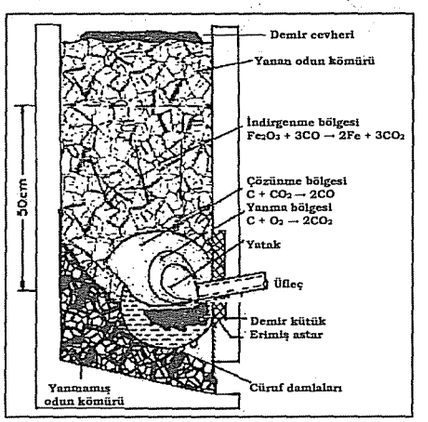
Şekil – 7.4: Eskiçağ'da demir fırını. (1) odun kömürü ve demir cevheri karışımı, (2) içinde odun bulunan ocak, (3) üflenen hava nedeniyle yükseltgen olan bölge, (4) indirgenme bölgesi, (5) kül, (6) oluşan süngerimsi demir parçaları, (7) kalan cevher ve kül, (8) ocaktaki odun artıkalrı, (9) odun kömürü artıkları. [Selmeier, s. 26].



Şekil – 7.5: İngiltere'de Roma dönemine ilişkin bir kâse fırın. D_1 = demir ve dışık içeren indirgenmiş süngerimsi cevher, D_2 = demir tanecikleri aglomerası ve demirden sıvı olarak ayrılan dışığın büyük kısmı, D_3 = erimiş siyah dışık. [Craddock ve Hughes, s. 163 ve 182].

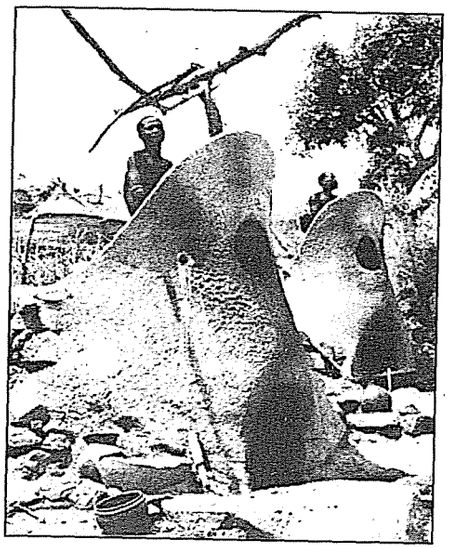


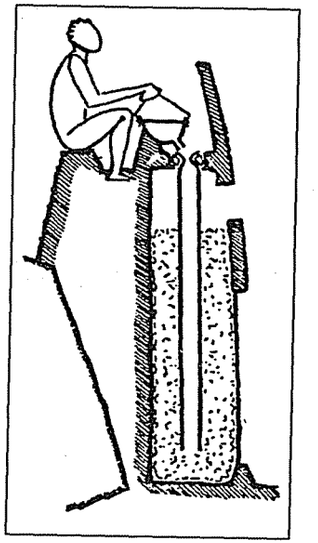
Şekil – 7.6: Roma dönemine ilişkin bir demir fırını. [Henseling, s. 19].



Şekil – 7.7: Viking dönemine ilişkin bir demir fırını. Fırının iç çapı 30 cm dolayındadır. [Craddock ve Hughes, s. 19].

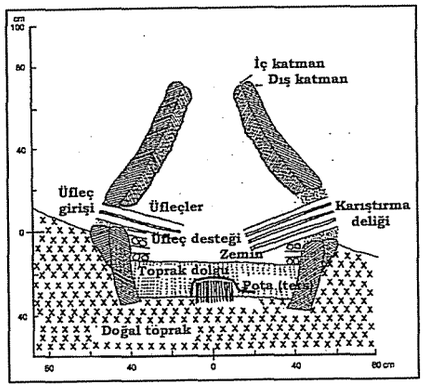
Afrika'nın Çad, Kamerun ve Tanzanya gibi bazı bölgelerinde XX. yüzyılda da geleneksel yöntemlerle demir elde edilmesinin örneklerine rastlanılmıştır. (Şekil – 7.8, 7.9, 7.10, 7.11 ve 7.12). Çad ve Kamerun'da kullanılan fırınların yapılarının birbirine çok benzediği görülmektedir.



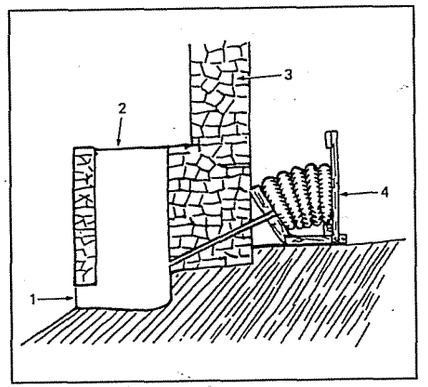


Şekil – 7.8: Afrika'da Çad'da demir elde etmede kullanılan fırınlar ve bunların hava üfleme sistemi. [Selmeier, s. 23].

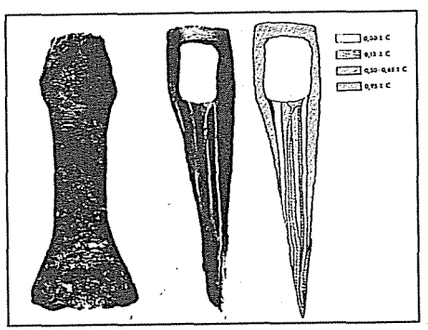
Şekil – 7.9: Afrika'da Kamerun'da demir elde etmede kullanılan fırınlar. (1952). [Henseling, s. 21].



Şekil – 7.10: Afrika'da Tanzanya'da demir elde etmek için kullanılmış olan fırının kesiti.



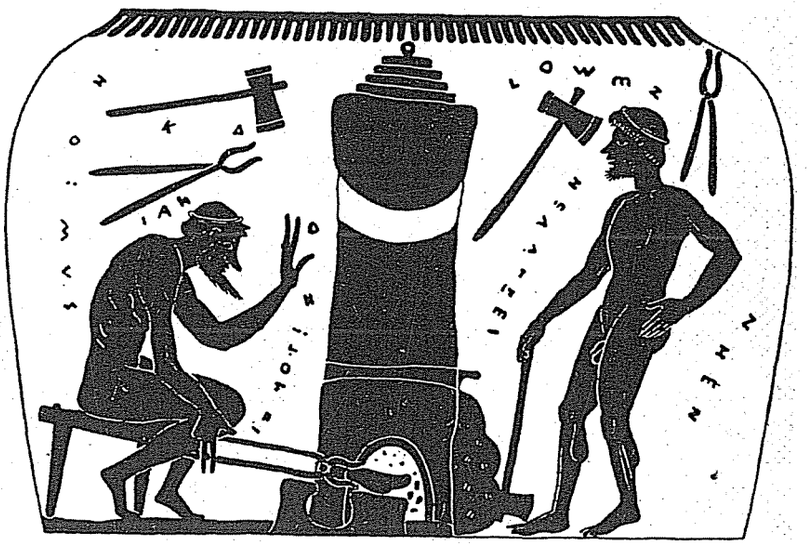
Şekil – 7.11: Fas'da Atlas Dağları'nda demir elde etmek için 1920'lerde kullanılan fırın. (1) dışık ve demiri almak için açıklık, (2) fırını yükleme yeri, (3) körükleri korumak için duvar,(4) körükler.



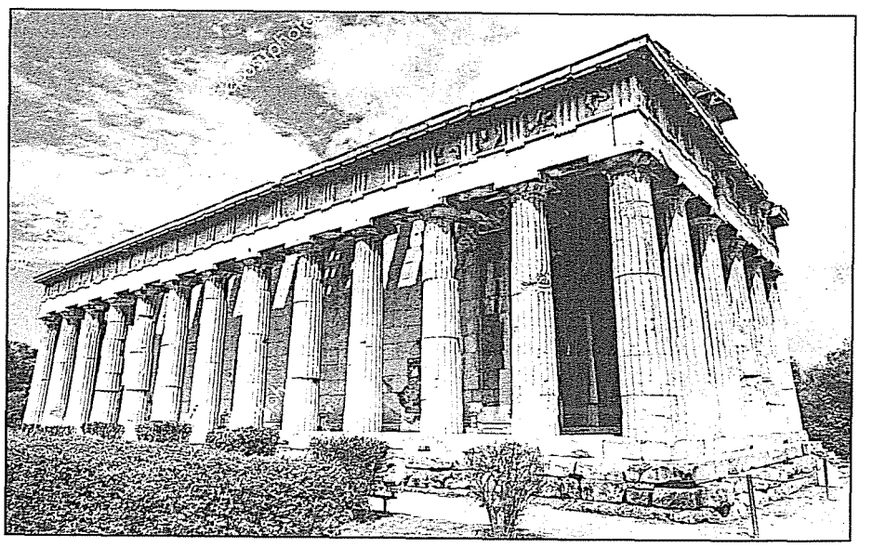
Şekil – 7.12: Balta, kılıç gibi malzemelerde hem esnekliği ve hem de sertliği sağlamak için yumuşak demirden bir çekirdek üzerine daha sert çelik katmanları kaynatarak katmanlı bir yapı oluşturulur. Bu yöntem hem Japon kılıçlarında ve hem de Şam kılıçlarında kullanılmıştır.

Demir ve mitoloji

Demirin elde edilmesinin yaygınlaşması ve değerinin anlaşılması mitolojide de karşılık bulmuştur. Yunan mitolojisinde baş tanrıça Hera'nın oğlu ve önemli bir tanrı olan çirkin ve topal *Hephaistos* demircilerin tanrısı olduğu gibi kendisi de demircidir. Hephaistos adına tapınaklar yapılmıştır. (Şekil – 7.13, 7.14 ve 7.15). Yanardağlar bu tanrının işliği olarak sayılmış ve bu nedenle Roma mitolojisine *Vulkan* olarak geçmiştir.



Şekil – 7.13: İ.Ö. VI. yüzyıla ilişkin bir vazo resminde Hephaistos demir dövüyor. [Selmeier, s. 30].



Şekil – 7.14: Atina Akropolü'nde bulunan Hephaistos tapınağı.

İskandinav mitolojisinde baş tanrı Odin'in oğlu ve şimşek tanrısı *Thor*'un sapı da demirden olan *Mjölnir* adında sihirli bir çekici vardır. Bu çekicin Brokk ve Eitri adlı iki cüce demirci

tarafından yapımı sırasında kötülük tanrısı Loki'nin sinek kılığına girerek cüceleri ısırması sonucunda kazara çekicin sapı kısa kesilmiştir. Thor iki keçisinin çektiği arabanın üzerinde elinde sihirli demir çekici ile dolaşır. (Şekil – 7.16).

Şekil – 7.15: Hephaistos yardımcıları Kiklop'lar ile Akilleus'un kalkan ve zırhını yaparken tanrıça Athena (solda) ile baş tanrıça ve annesi Hera (sağda) kendisini seyrediyor. [Roma'da Palazzo dei Conservatori'deki röliyef].

Şekil – 7.16: Tanrı Thor elinde demir çekici ile keçilerinin çektiği arabasında.

ORTAÇAĞ VE SONRASINDA METALURJİ

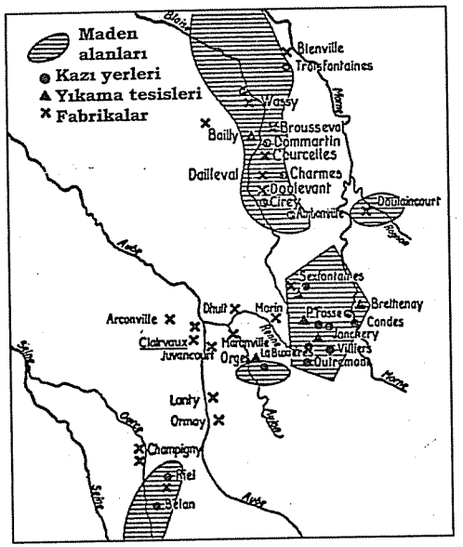
Madencilik ve metalurjideki gelişmeler

Ortaçağ'da metalurjik yöntemlerde önemli bir gelişme olmamakla birlikte madencilikte önemli gelişmeler ortaya çıkmıştır. XV. yüzyıldan itibaren kapitalizmin doğuşu, Bilimsel Devrim ve Rönesans ile birlikte metal kullanımına olan talep hızla artmış ve bunun soucunda XVI. yüzyılda madencilik ve metalurjide bir patlama yaşanmıştır. (Şekil – 7.17). Bir yandan madencilik teknolojisi gelişip daha derin kuyular açılıp bunlar daha etkin bir biçimde işletilirken öte yandan da metalurjik yöntemlerde, fırınlarda ve körüklerde önemli gelişmeler ortaya çıkmıştır. Gerek körüklerin ve gerekse dövme demir elde edilmesinde kullanılan büyük çekiçlerin çalıştırıl-masında su çarklarından etkin bir biçimde yararlanılmaya başlanmıştır. XVI. yüzyılın madencilik ve metalurji teknolojisi konusundaki temel kaynaklar Vannoccio Biringuccio (1480 – 1537)[1] tarafından yazılmış ve 1540'da yayınlanmış olan *De La Pirotechnia* (Şekil – 7.18) ile Georgius Agricola (1494 – 1555)[2] (Şekil – 7.19) tarafından yazılıp 1556'da yayınlanmış olan *De Re Metallica* (Şekil – 7.20) adlı kapsamlı ve resimli kitaplardır.

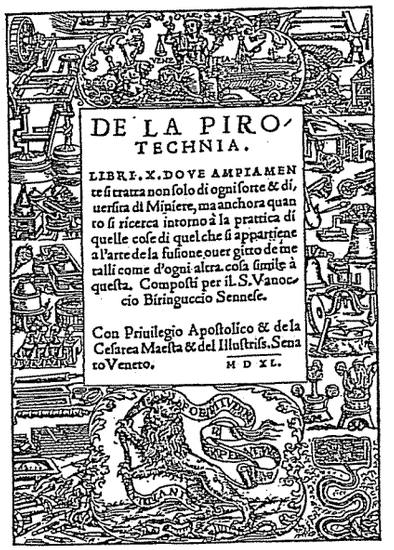
---

1 *Vannoccio Vincenzio Agustino Luca Biringuccio (1480 – 1537):* Biringuccio gençliğinde İtalya ve Almanya'yı dolaşarak buralardaki madencilik ve metalurji faaliyetleri hakkında incelemelerde bulundu. Yaşamının büyük bölümünü Siena'da geçirdi, buradaki darphanenin başına getirildi, top dökümleri yaptı, benzer işlerde çalıştı ve son olarak 1536'da Papalık dökümhanesinin başına getirildi. Hem gözlemlerini ve hem de kendi deneyimlerini topladığı *De La Pirotechnia*'yı 1530 – 1535 arasında yazdı ve ölümünden üç yıl sonra 1540'da Venedik'de basıldı. Kitap kısa sürede ün kazanarak dört baskı yaptı. [Day ve McNeil, s. 69].

2 *Georgius Agricola (1594 – 1555):* Agricola bir maden bölgesi olan Saksonya'da doğdu. Almanya ve İtalya'da tıp öğrenimi gördükten sonra 1526'da Saksonya'ya dönerek hekimlik yapmaya başladı. Asıl adı Georg Bauer olmakla birlikte daha sonra adını Latinceleştirdi. İlk kez meşlek hastalığı kavramını ortaya koydu, incelemeleri sonucunda döneminin madencilik ve metalurji teknolojisini anlatan dev eseri olan *De Re Metallica*'yı yirmi yılda yazdı. Kitabın içerdiği çok sayıda resmin tahta oyma baskı kalıplarının hazırlanması çok uzun sürdü ve kitap ancak ölümünden bir yıl sonra yayınlanabildi. Kitap hızla çeşitli dillere çevrildi. Agricola yazdığı diğer eserleriyle de yerbilimlerinin, paleontolojinin ve mineralojinin kurucuları arasında yer aldı. [Day ve McNeil, s. 8 – 9].



Şekil – 7.17: XIV. yüzyılda Fransa'nın Champagne bölgesindeki Plateau de Langres'de demir madenleri ve işleme tesisleri. [Gimpel, s. 69.

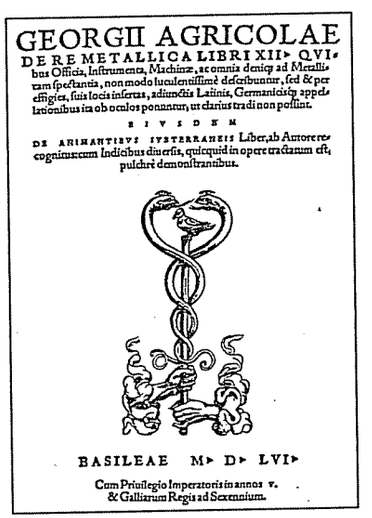

DE LA PIRO-
TECHNIA.

LIBRI. X. DOVE AMPIAMEN te si tratta non solo di ogni sorte & di, uersita di Miniere, ma anchora quan to si ricerca intorno à la prattica di quelle cose di quel che si appartiene a l'arte de la fusione ouer gitto de me talli come d'ogni altra cosa simile à questa. Compositi per il S. Vanoc cio Biringuccio Sennese.

Con Priuilegio Apostolico & de la Cesarea Maesta & del Illustriss. Sena to Veneto. M D XL.

Şekil – 7.18: Vannoccio Biringuccio'nún 1540'da Venedik'de yayınlanan *De La Pirotechnia* adlı kitabının kapak sayfası.

Şekil – 7.19: Georgius Agricola, (1594 – 1555).


GEORGII AGRICOLAE
DE RE METALLICA LIBRI XII▸ QVI▸ bus Officia, Instrumenta, Machinæ, ac omnia denique ad Metalli▸ cam spectantia, non modo luculentissimè describuntur, sed & per effigies, suis locis inserta, adiunctis Latinis, Germanicisq; appel▸ lationibus ita ob oculos ponuntur, ut clarius tradi non possint.

BIVSDEM

DE ANIMANTIBVS SVBTERRANEIS Liber, ab Autore re▸ cognitus cum Indicibus diuersis, quicquid in opere tractatum est, pulchrè demonstrantibus.

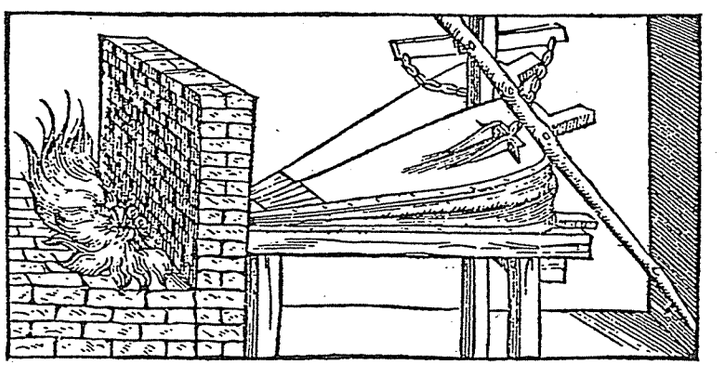
BASILEAE M▸ D▸ LVI▸

Cum Priuilegio Imperatoris in annos v. & Galliarum Regis ad Sexennium.

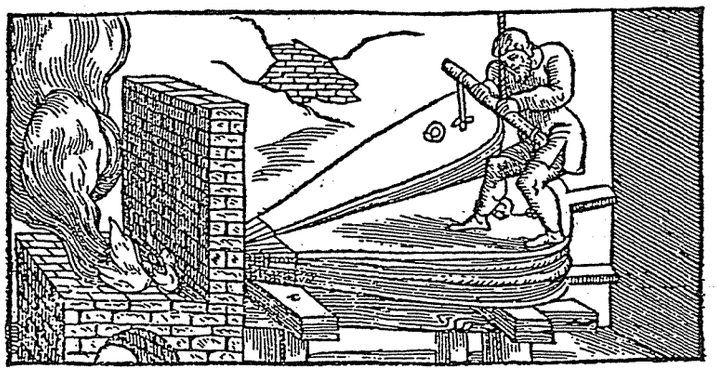
Şekil – 7.20: Georgius Agricola'nın 1556'da Basel'de yayınlanan *De Re Metallica* adlı kitabının kapak sayfası.

Körüklerin gelişimi

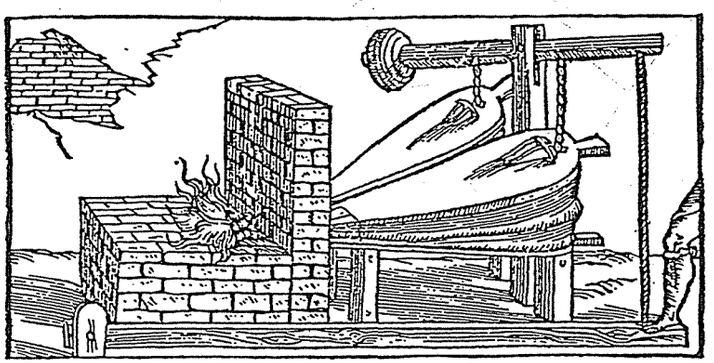
Metalurjide en önemli sorunlardan biri fırının sıcaklığının istenilen düzeye kadar yükseltilebilmesidir. Bunun için körükler yardımıyla fırına yeterli havanın üflenebilmesi gereklidir. Gerekli hava sığır veya at derisinden yapılmış olup el veya ayakla çalışan körüklerle üflenmekteydi. Hava akımının sürekliliğini sağlayabilmek için en az bir çift körüğe gerek vardır. Bunlardan birinin içindeki hava fırına üflenirken diğeri dışardan içine hava çekerek dolar ve böylece fırına sürekli olarak hava üflenmesi sağlanır. Başlangıçtan beri daima en az iki olmak üzere çift sayıda körük kullanılmıştır. Zamanla fırınların yüksekliği artınca insan gücü ile çalışan körükler yetersiz kaldı ve su çarkı ile çalışan körükler ortaya çıktı. Su çarkı ile çalışan körük ve çekiçler ilk kez XIII. yüzyılın başlarında Güney Tyrol'deki gümüş madenlerinde kullanıldı ve hızla bütün Avrupa'ya yayıldı. Körüklerin boyutu fırınların boyutunun büyümesine paralel olarak büyüdü. İngiltere'deki en büyük körükler 6 m boyunda ve 1,2 m enindeydi. Su gücünün kullanılmaya başlanması ile birlikte daha önce odun kömürüne olan bağımlılıkları nedeniyle ormanların içinde ve genellikle yamaçlarda kurulmuş olan fırınlan gene orman içinde kalmakla birlikte vadilerin diplerindeki akarsuların yanlarına taşındılar. Vannaccio Biringuccio *De La Pirotechnia*'da XVI. yüzyılda kullanılan çok sayıda körük sistemini tanımlamış ve bunların resimlerini vermiştir. (Şekil – 7.21 — 7.28).



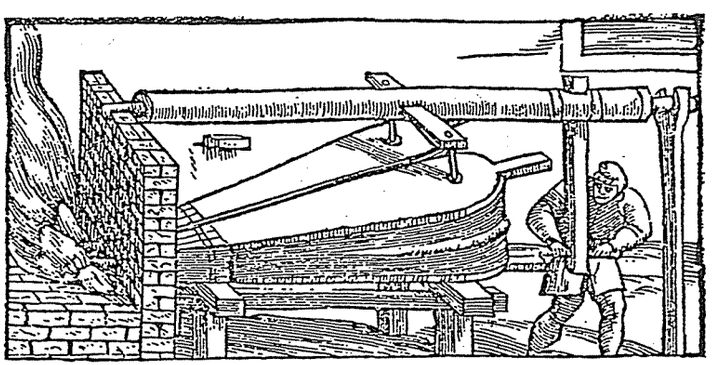
Şekil – 7.21: Bir kaldıraç yardımıyla elle çalıştırılan körükler. [Biringuccio, s. 302].



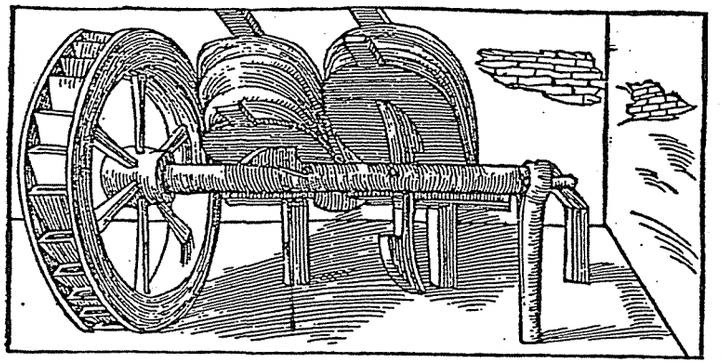
Şekil – 7.22: Bir insanın kendi ağırlığı ile çalışan körükler. [Biringuccio, s. 304].



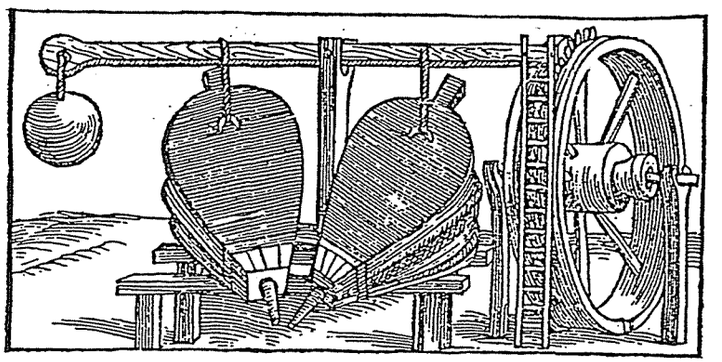
Şekil – 7.23: Bir pedal ve karşı ağırlıkla çalışan körükler. [Biringuccio, s. 304].



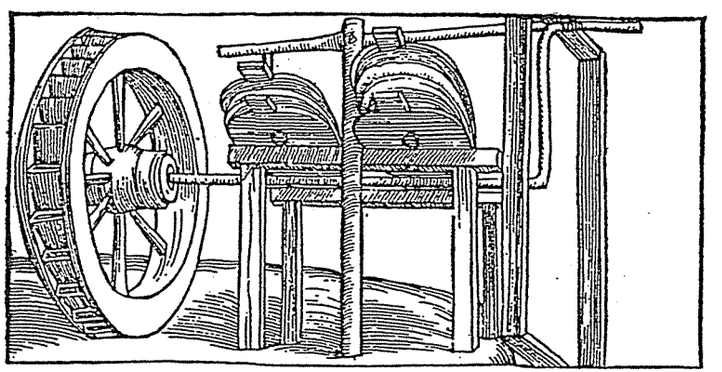
Şekil – 7.24: Salınım yapan bir mil yardımıyla çalışan körükler. [Biringuccio, s. 305].



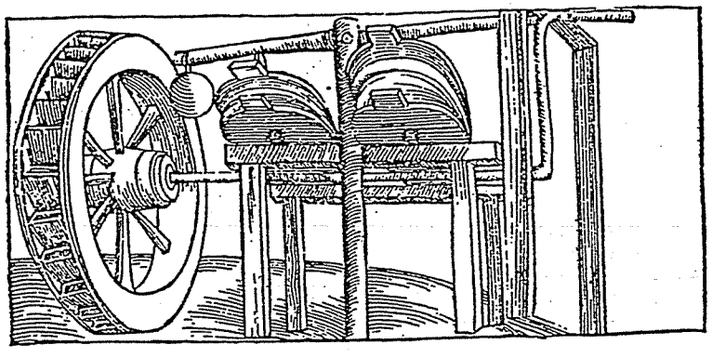
Şekil – 7.25: Bir su çarkına bağlı mil üzerindeki kamlar ile çalışan körükler. [Biringuccio, s. 301].



Şekil – 7.26: Kısmi dişli bir tekerlek yardımıyla çalışan körükler. [Biringuccio, s. 305].



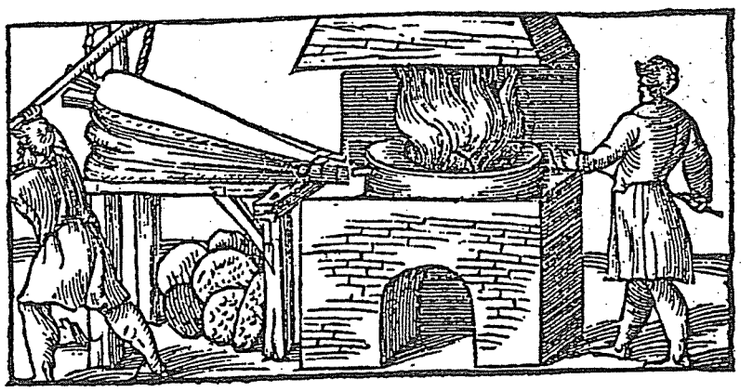
Şekil – 7.27: Bir su çarkına bağlı krank ve kolla çalışan körükler. [Biringuccio, s. 301].



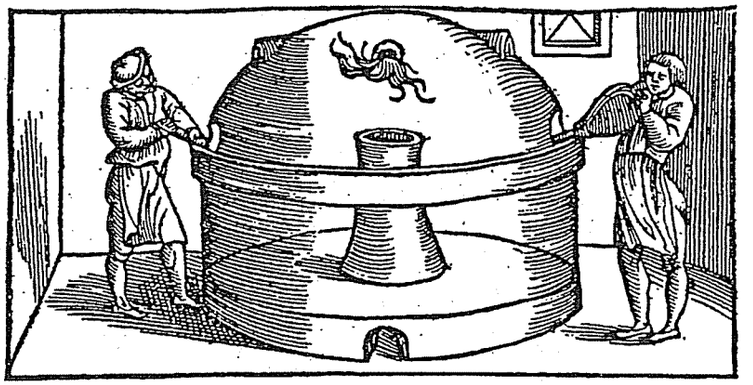
Şekil – 7.28: Bir su çarkına bağlı krank ve karşı ağırlıklı kolla çalışan körükler. [Biringuccio, s. 302].

XVI. yüzyılda kullanılan fırınlar

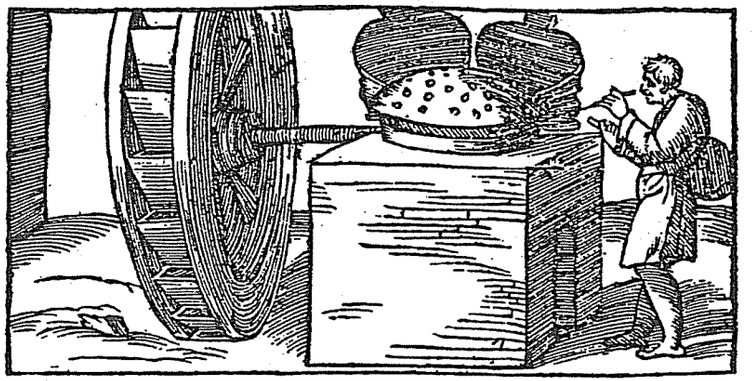
Ortaçağ sonlarından itibaren metalurjide kullanılan fırınlarda önemli gelişmeler ortaya çıkmıştır. Bir yandan bulunan yeni yöntemlere uygun fırınlar geliştirilirken öte yandan da demir elde edilmesinde kullanılan yüksek fırın da gelişmesini sürdürmüştür. Aşağıda Biringoccio tarafından tanımlanmış çeşitli fırınlardan örnekler verilmiştir. (Şekil – 7.29, 7.30, 7.31, 7.32 ve 7.33). Bu gelişmelere paralel olarak madencilerin kullandıkları el aletleri de önemli gelişmeler göstermiştir. (Şekil – 7.34). Bu yüzyılda metalurji konusunda deneylerin yapıldığı laboratuvarların da kurulmuş olduğu görülmektedir. (Şekil – 7.35).



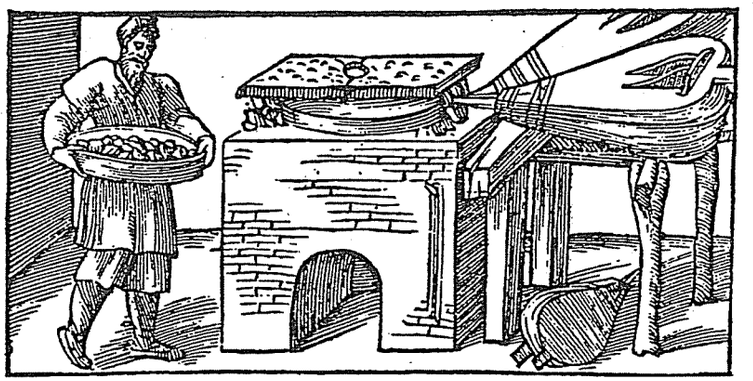
Şekil – 7.29: Bakır arıtmada kullanılan açık ocak. [Biringuccio, s. 171].



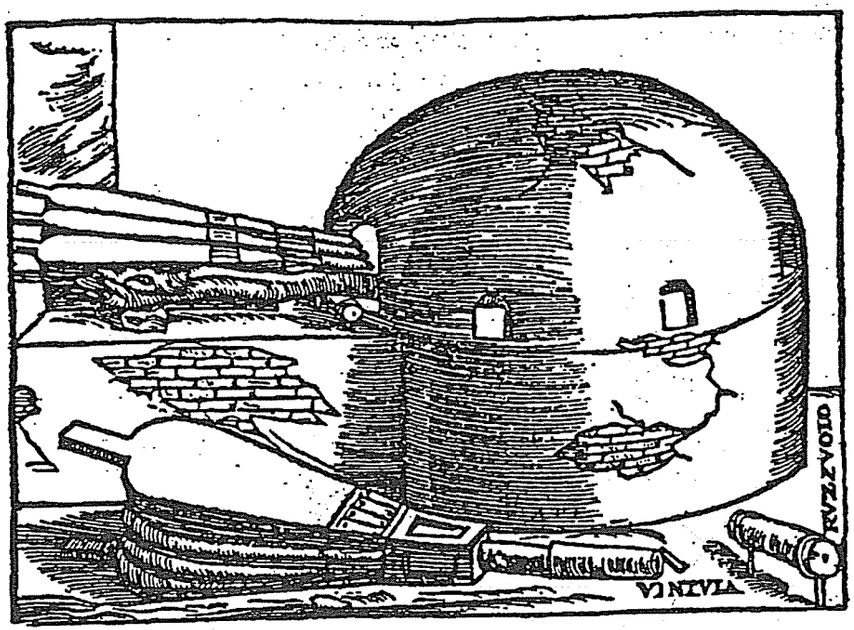
Şekil – 7.30: Dairesel reverber fırın. [Biringuccio, s. 151].



Şekil – 7.31: Demir kapaklı kupelasyon fırını. [Biringuccio, s. 167].



Şekil – 7.32: Kil kapaklı kupelasyon fırını. [Biringuccio, s. 167].



Şekil – 7.33: Tuğla kubbeli Alman kupelasyon fırını. Körüklerin ucundaki valflar (vintula) görülmektedir. [Biringuccio, s. 166].

Şekil – 7.34: Madencilerin kullandıkları el aletleri, el arabaları ve sepetler. [Biringuccio, s. 24].

Şekil – 7.35: Bir deneme laboratuvarı. Teraziler ile kupelasyon ve külçe eritme işlerinde kullanılan mufla fırını görülmektedir. [Biringuccio, s. 140].

YÜKSEK FIRININ DOĞUŞU

Katalan fırını

Avrupa'daki ilk demir sanayii İspanya'nın kuzeyindeki Katalonya bölgesinde ortaya çıktı ve yüzlerce yıl varlığını sürdürdü. Demir sanayii V. yüzyıldan VIII. yüzyıla kadar süren Vizigot döneminde de varlığını sürdürdü ve İslâm egemenliği döneminde büyük gelişim gösterdi. Özellikle bu dönemde *Katalan fırını* gelişti. Bu fırın demir metalurjisinin tarihinde ilk önemli gelişmedir. Fırının dibi ortası hafifçe oyulmuş 30 cm boyutunda kare biçiminde bir taştır. Ocağın arkası bir yamaca yaslandığından önüne ve iki yanına 90 cm yüksekliğinde taş duvar örülmüştür. Fırının ön duvarına dipten biraz yüksege üfleme deliği açılmıştır ve buraya deri körüklerin ucu bir üfleçle sokularak hava üflenir. Fırının dibine üfleme deliği hizasına kadar odun kömürü konulur ve bunun üzeri de öne odun kömürü ve arkaya da demir cevheri gelecek biçimde iki ayrı sütun olarak yüklenir. Daha sonra fırın yakılarak indirgeme işlemi yapılır. Ele geçen ve genellikle dışık içermeyen süngerimsi demir kütlesi alınıp dövülerek dışık artıklarından temizlenir. Daha önceki fırınlar bir kerede en çok 20 – 25 kg demir üretirken Katalan fırını 5 saatlik bir işlem sonucunda

150 – 170 kg demir üretebilir bir duruma gelmiş ve buna bağlı olarak ticari başarı kazanmıştır.

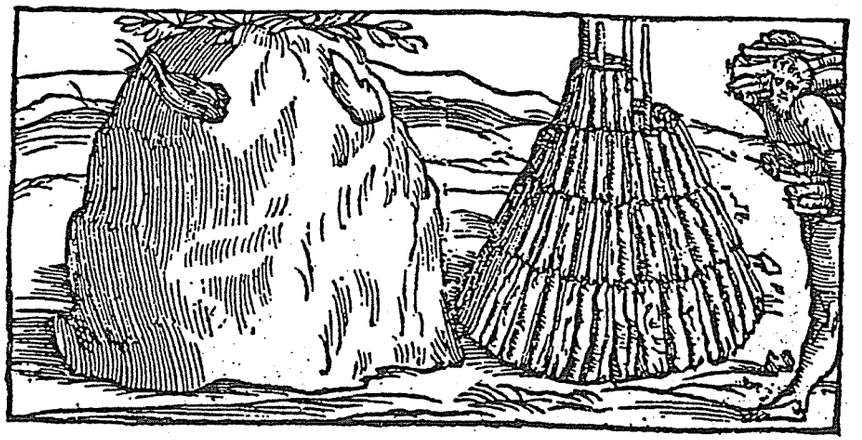
Stückofen

VIII. ve IX. yüzyıllarda Avusturya, Saksonya ve Rhine vadisinde çalışan demir üreticileri Katalan fırınının yüksekliğini önce 3 ve ardından 5,5 m dolayına çıkartarak geliştirdiler. Bu fırınlarda elde edilen büyük metalik kütle *stücke* veya *wolf* olarak adlandırıldığından bu fıdrınlara *stückofen* veya *wolf fırını* adı verilmiştir. Ele geçen demir kütlesi daha sonra Fransa'da *loup* ve İngiltere'de Anglo-Saxon dilindeki *bloma*'dan türeyen *bloom* sözcüğü ile ve ilkel İngiliz demir fırınları da *bloomery* olarak adlandırılmıştır. İngilizler ara gelişme basamaklarından geçmeden kıta Avrupa'sında gelişen yüksek fırını doğrudan alarak kullanmaya başlamışlardır. Avrupa'da gelişen bu fırınlar temel olarak Katalan fırınının kare prizma veya silindir biçiminde yükseltilmesi sonucu ortaya çıkmıştır. İşlem sırasında sürekli olarak fırının tepesinden demir cevheri ve odun kömürü yüklenmesi südürülür. Stückofen cevherden doğrudan dövme demir elde eden fırınların son gelişim aşamasıdır. Bu fırınlar bir kerede 200 – 350 kg dolayında demir üretirler – ki bu Katalan fırınının üretiminin iki katıdır – ve bu küte *stücke* adı verilen iki eşit parçaya bölünür. Bu parçalar da daha küçük parçalara ayrılıp dövülerek işlenir. Bir Stückofen'nın sıcak yaz aylarında çalışmaması koşuluyla yıllık üretimi 100 – 150 ton arasındadır.

Odun kömürü elde edilmesi

Metalurjinin başlangıcından itibaren indirgen olarak odun kömürü kullanılmıştır. Ortalama dört ton odundan bir ton odun kömürü elde edilir. Bunun için kısa kesilmiş odunlar bir koni biçiminde üst üste yığılır ve bu yığının üzeri çamurla sıvanır. Daha sonra koninin alt kenarında ufak delikler açılarak odunlar buradan tutuşturulur ve duman tepedeki delikten çıkar. Yetersiz hava ile kısmi bir yanma sonucunda odun kömürü oluşur. Şekil – 7.36, 7.37, 7.38 ve 7.39). Metalurji sanayii geliştikçe odun kömürü gereksinimi de

giderek artmış ve ormanların tükenmesi sonucunda elde edilmesi gittikçe güçleşerek fiyatı da yükselmiştir.

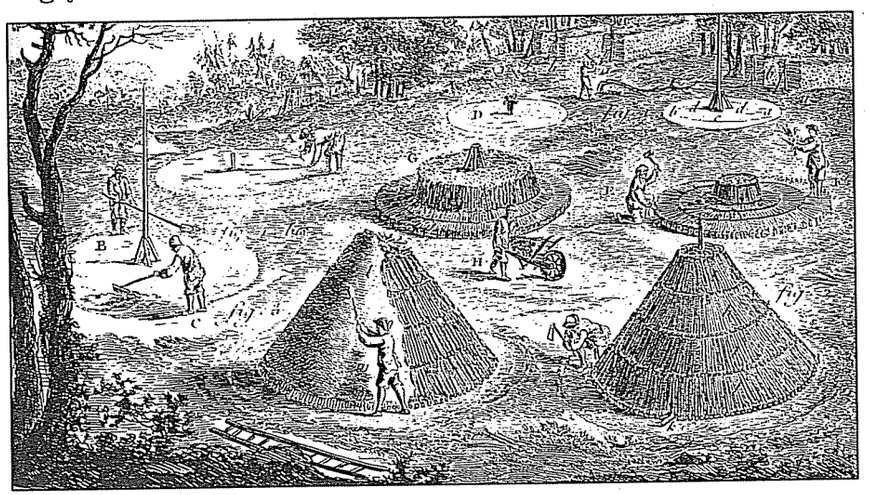


Şekil – 7.36: XVI. yüzyılda odun kömürü yapmak için odun yığınlarının hazırlanması. [Biringuccio, s. 177].

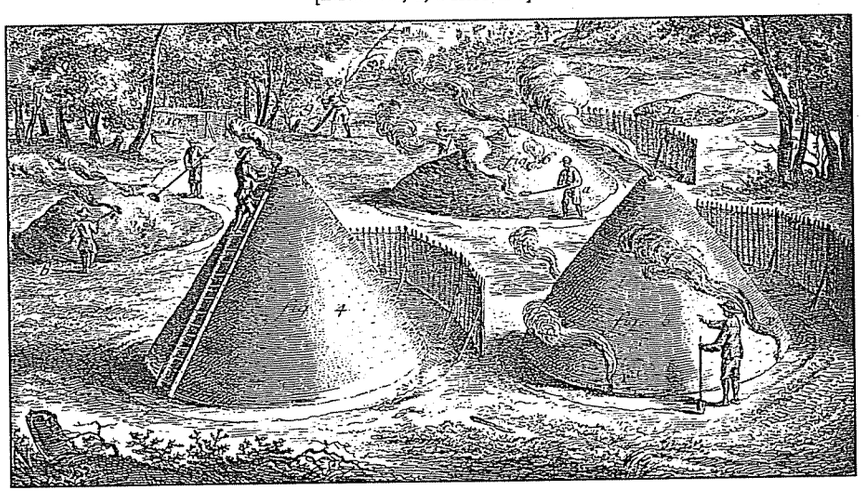
Şekil – 7.37: XVI. yüzyılda çukurlar içinde odun kömürü yapılması. [Biringuccio, s. 177].

Odun kömürünün kullanılması bu kömürün kırılganlığı nedeniyle fırınların büyüklüğünü sınırlayan ve bunun sonucunda demir üretiminin artmasını engelleyen başlıca etkenlerden biri olmuştur. Fırınlara hava üflenmesi elle veya su çarkı ile çalışan körüklerle yapılıyordu ve bu durumda oluşan demirin erimesine yetecek düzeyde bir sıcaklık elde

edilemiyordu. İngiltere'de ham demir üretimi 1625 – 1635 yılları arasında 20.000 ton/yıl, 1720'lerde 20 – 25.000 ton/yıl ve 1760'larda 30.000 ton/yıl dolayındaydı. Görüldüğü gibi iki yüz yıla yakın bir süre içinde yıllık üretim düzeyi neredeyse değişmeden kalmıştır.



Şekil – 7.38: XVIII. yüzyılda odun kömürü elde etmek için odunların dizilerek koniler oluşturulması ve üzerlerinin çamurla sıvanması. [Diderot, I, Plate 24].



Şekil – 7.39: Üzeri toprakla sıvanmış odun yığınlarının tutuşturulması. Arkada yanma sonucunda büyük bir koniden geriye kalan küçük bir odun kömürü yığını görülmektedir. [Diderot, I, Plate 24].

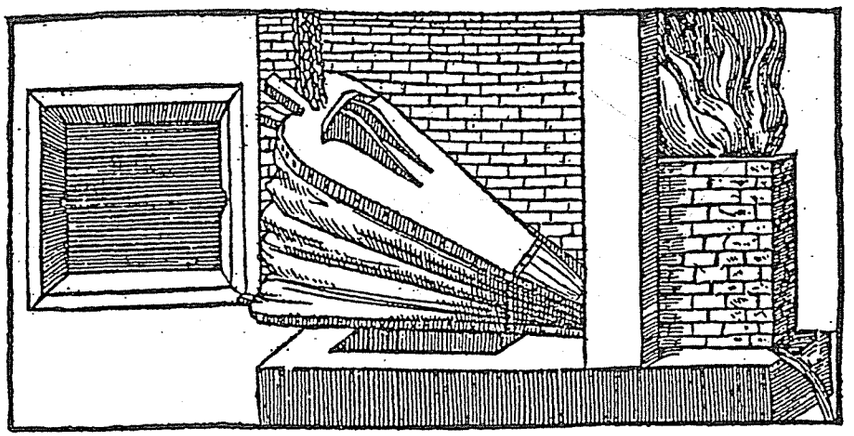
Yüksek fırının doğuşu

Stückofenden yüksek fırına geçiş yavaş yavaş meydana gelmiştir. Yüksekliği artan fırınlarda demir cevherinin indirgenmesi için odun kömürü ile uzun bir süre ve su çarkı ile çalışan körüklerle bol hava verilerek ısıtılması sıcaklığın yükselmesine ve çoğu kez bir miktar demirin eriyerek fırının dibinde toplanıp donmasına neden oldu. Ele geçen bu demir kütlesi kırılgan ve dövülemez nitelikteydi ve başlangıçta dövme demir üretmeyi amaçlayan üreticiler için sıkıntı yaratığından fırına konularak yeniden işleniyordu. (Şekil – 7.40). Daha sonra bunun açık ocaklarda ısıtılarak işlenebilir duruma getirilebileceği anlaşıldı. Bunun sonucunda XIV. yüzyılın başlarında yeni bir terim ortaya çıktı ve erimiş demir üreten fırınlara *flüssofen* yani akıtma fırını adı verildi. Daha sonra bunlar yüksek fırın anlamına gelen Almanca *hochofen* ve Fransızca *haut fourneau* olarak adlandırıldılar.

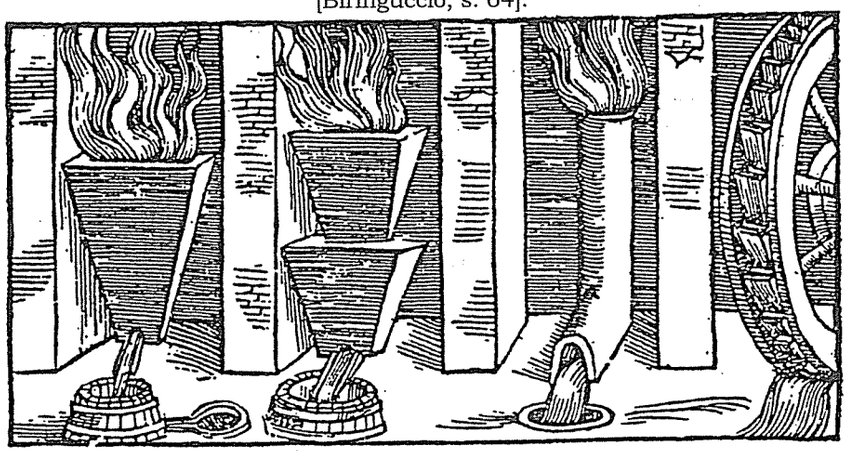
Şekil – 7.40: Belçika'daki ilk yüksek fırınlardan biri. [Bory, s. 52].

Üreticilerin bazıları fırınlarını bütünüyle erimiş demir elde edecek biçimde geliştirdiler. Bu geçiş sürecinde istenildiğinde dövme ve istenildiğinde de dökme demir üreten fırınlara *blauofen* adı verildi. X. yüzyıldan sonra Almanya'nın çeşitli bölgelerinde *stückofen* ve *flüssofen* terimleri duyulmaya başlandı. Yüksek fırının Rhine bölgesinde Fransızların, Belçikalıların ve Almanların ortak teknolojik katkıları sonucunda ortaya çıkmış olduğu kabul edilmektedir. Eldeki kayıtlar 1340'da Belçika'da Marche-les-Dames'da bir

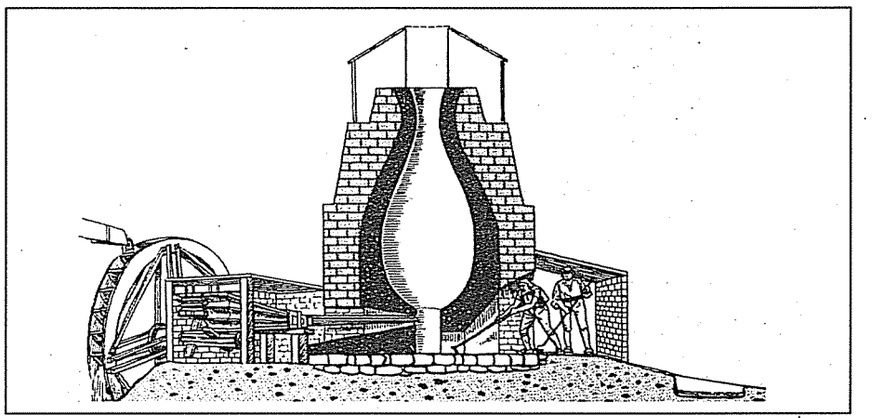
flüssofen'in ve 1400'de Liége yakınında *haut fourneau*'ların çalıştığını göstermektedir. Fransa'da 1409'da Massevaux vadisinde bir yüksek fırının bulunduğu ve 1450'ye bunlardan çok sayıda kurulmuş olduğu bilinmetedir. Kuzey Avrupa'da ise erimiş demir elde eden ilk yüksek fırınlar 1150 – 1350 yılları arasında İsveç'te Lapphyttan'da ortaya çıkmıştır. XVI. yüzyılda Avrupa'da kullanılan yüksek fırınlar (Şekil – 7.41, 7.42 ve 7.43)'de verilmiştir. Avrupa'daki bütün bu gelişmelere karşılık dökme demirin ilk kez İ.Ö. 513'de Çin'de elde edilmiş olduğu da unutulmamalıdır.



Şekil – 7.41: XVI yüzyılda demir elde edilmesinde kullanılan yüksek fırın. [Biringuccio, s. 64].



Şekil – 7.42: XVI. yüzyılda çeşitli biçimlerde yüksek fırınlar. [Biringuccio, s. 150].



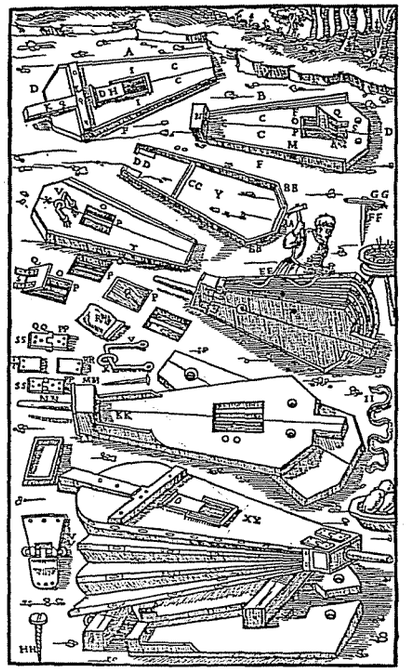
Şekil – 7.43: XVI. yüzyılda bir yüksek fırın.

XVI. YÜZYILDA DEMİR VE ÇELİK ÜRETİMİ

XVI. yüzyıldaki madencilik ve metalurji konusunda çok ayrıntılı bilgi ve resimler bulunan Georgius Agricola'nın *De Re Metallica* adlı eserinde demir ve çelik elde edilmesi için kullanılan üç farklı yöntemden söz edilmektedir.

1) Eskidenberi kullanıla gelen birinci yönteme göre "çok iyi demir filizi" kupelasyon fırınına benzeyen 3,5 ayak yüksekliğinde, 5 ayak eninde ve boyunda olan bir fırında işlenir. Fırının içinde 1 ayak derinliğinde ve 1,5 ayak genişliğinde bir pota vardır. Elde edilecek demir miktarına göre potanın boyutları daha büyük veya daha küçük olabilir. Potaya önce odun kömürü, bunun üzerine kırılmış ve sönmemiş kireçle karıştırılmış demir filizi konulur ve bu biçimde katmanlar eklenerek bir yığın oluşturulur. Ateş su çarkı yardımıyla çalışan körüklerle üflenerek şiddetlendirilir. Fırına işlem sırasında kömür ve demir filizi katılır ve indirgeme işlemi 8 – 12 saat sürer. İşlem sonunda demir bir çubukla karıştırılır ve yapışmış olan dışığın yüzmesi sağlanır. Daha sonra dışık fırından dışarı akıtılır, soğumaya bırakılan demir kütlesi fırından alınır, tahta tokmaklarla kırılır ve hemen ardından bir örs üzerine konularak su çarkı ile çalışan büyük bir demir çekiçle dövülür, daha küçük parçalara ayrılır ve bir demirci ocağında çeşitli kereler ısıtılıp dövülerek dışıktan kurtarılır ve biçimlendirilir. (Şekil – 7.44 ve 7.45).

Şekil – 7.44: Agricola'ya göre birinci yöntemle geleneksel yoldan demir elde edilmesi. A = fırın, B = yığın, C = dışık deliği, D = demir kütlesi, E = tahta tokmaklar, F = çekiç, G = örs. [Agricola, s. 422].



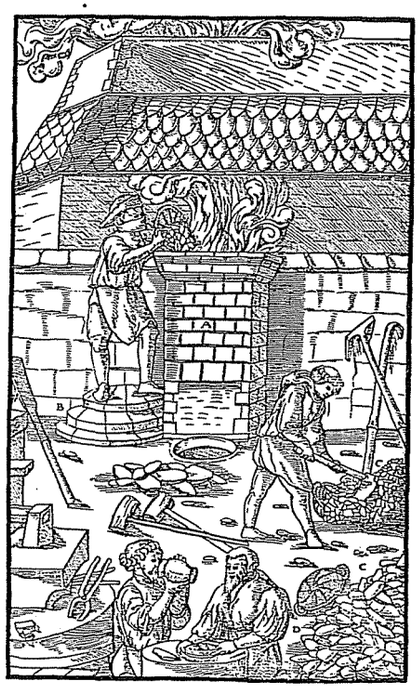
Şekil – 7.45: Agricola'ya göre fırınlarda kullanılan büyük körüklerin yapımının ayrıntılı olarak açıklanması. [Agricola, s. 365].

Agricola'ya göre demir filizinin zenginliğine bağlı olarak bir işlem sonucunda 200 – 300 libre (100 – 150 kg) demir elde edilir. Agricola, ele geçen kütlenin fırındaki potada bırakılması durumunda sert ve güçlükle çekiçlenen demirin ortaya çıktığını ve bundan çekiç başı gibi çok sert malzemenin yapıldığını yazmatadır.

2) İkinci yöntem demir filizinin bakırlı olması veya ısıtıldığında güçlükle erimesi durumunda uygulanır. Demir filizi önce kırılır, kavrulur ve sonra hafif kısımlarından ayrılması için yıkanır. Daha sonra cevizden büyük olmayan filiz parçaları ile odun kömürü yüksek fırına benzeyen fakat

daha geniş ve yüksek olan bir fırında işlenir. Bir veya iki kez işlemden sonra demirci ocağında yeniden ısıtılmaya uygun demir ele geçer. Yüksek fırında elde edilen demir çekiçle dövülerek yassılaştırılır ve kesilerek parçalara ayrılır. Bu yöntemle birincisine oranla daha büyük miktarlarda demir elde edilebilir. (Şekil – 7.46).

3) Agricola'nın anlattığı üçüncü yöntem sementasyon yoluyla çelik elde edilmesidir. (Şekil – 7.47). Bunun için, daha önceki yöntemlerle elde edilmiş olan demir sıcakken kırılarak küçük parçalara ayrılar ve kırılmış taşla karıştırılır.



Şekil – 7.46: Agricola'ya göre ikinci yöntemle yüksek fırında demir elde edilmesi. A = ocak, B = basamaklar, C = demir filizi, D = odun kömürü. [Agricola, s. 424].

Şekil – 7.47: Agricola'ya göre üçüncü yöntemle sementasyon yoluyla çelik elde edilmesi. A = ocak, B = körükler, C = kıskaçlar, D = çekiç, E = soğuk su akıntısı. [Agricola, s. 425].

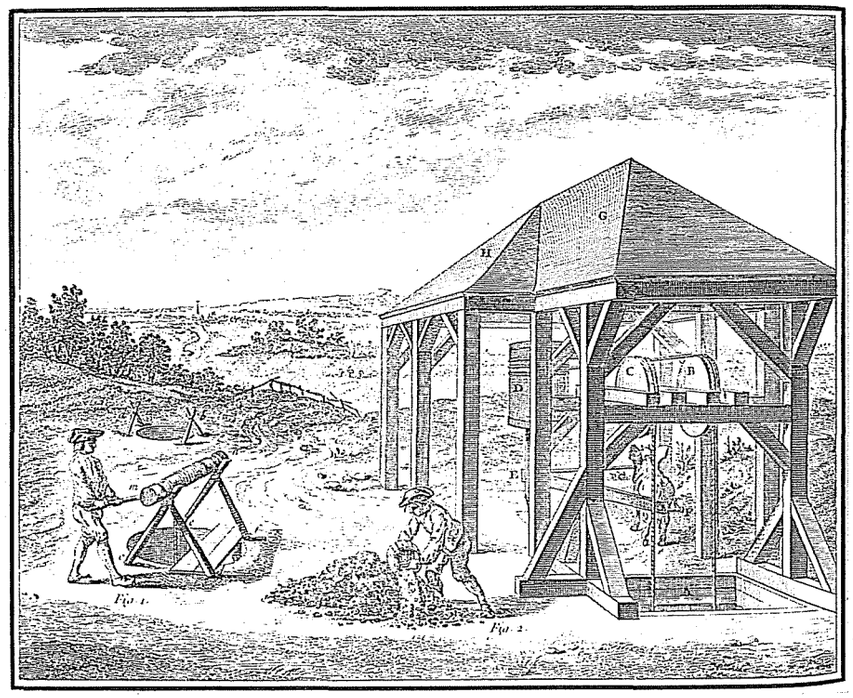
Bir demirci ocağının içine 1 ayak derinliğinde ve 1,5 ayak genişliğinde taştan bir pota yapılır ve körüklerin ucu potanın

ortasına yerleştirilir. Potaya iyi odun kömürü, eritici karıştırılmış demir ve bunum üzerine gene kömür konularak ocak yakılır ve körükle hava verilir. Demir eriyince bunun içine dört tane 30 librelik demir kütlesi konulup şiddetli ateşte 5 – 6 saat ısıtılılr. İşlem sırasında erimiş demir, içine konulmuş olan demir kütlelerindeki küçük delikler tarafından emilmesi için bir çubukla karıştırılır. İşlem sonunda ocaktan alınan demir kütleleri bir örs üzerinde çekiçle dövülür ve sıcakken soğuk suya sokularak su verilir. Eğer çelikleşmenin yeterli olmadığı kanısına varılırsa kütle parçalara ayrılarak işlem tekrarlanır

XVIII. YÜZYILDA FRANSA'DA DEMİR ELDE EDİLMESİ

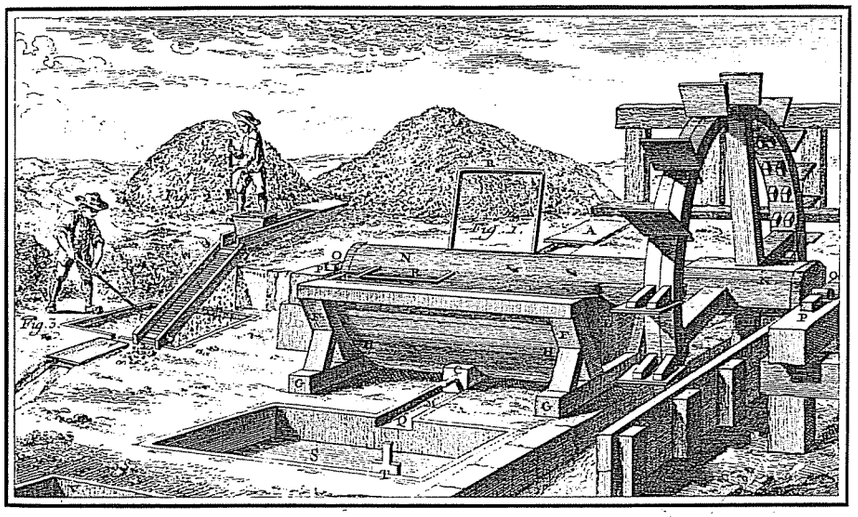
XVIII. yüzyılda Fransa demir üretiminde teknolojik olarak İngiltere'ye oranla geridir. Fransa'da odun kömürü yerine kok kömürü kullanan ilk yüksek fırın 1782'de ilerde büyük Schneider – Creusot kombinasının çekirdeğini oluşturacak olan Le Creusot'da kurulmuş olan fırındır. Bununla birlikte, 1815'de Fransa'da kok kullanan sadece iki kuruluş vardır. Denis Diderot tarafından yayınlanmış olan *Ansiklopedi*'de[3] odun kömürü ile demir üretimi ayrıntılı bir biçimde anlatılmıştır. Buna göre, yaklaşık 22,5 m yüksekliğindeki yüksek fırının toplam kapasitesi 7200 libre (3260 kg) dolayındadır. Gerekli hava, su çarkları ile çalışan körükler yardımıyla sağlanmaktadır. Bir şarjın işlenmesi 12 – 14 saat sürer ve işlerin iyi gittiği bir haftalık çalışma sonucunda 6 – 7 ton dolayında ham demir (pig) üretilir. Yüksek fırın 20 – 30 hafta çalıştıktan sonra bakıma alınır, körükler, fırının astarı ve fırın onarılır. Fırının yeniden devreye alınması oldukça güç bir işlemdir. Fırının yüklenmesinde 500 libre (226 kg) demir cevheri başına 230 libre (104 kg) odun kömürü, 50 libre (23 kg) kireç taşı ve 20 libre (9 kg) killi toprak kullanılır ve işlem sırasında fırın sürekli olarak yüklenir. (Şekil – 7.48 — 7.58).

3 *Encyclopédie ou Dictionnaire Raisonné des Sciences, des Arts et des Métiers* [Ansiklopedi veya Bilimlerin, Sanatların ve Zanaatlerin Açıklamalı Sözlüğü] 1751 – 1772 yıllarıarasında Denis Diderot (1713 – 1784) ve Jean de Rond d'Alebmbert (1717 – 1783) tarafından 32 cilt olarak yayınlanmıştır.

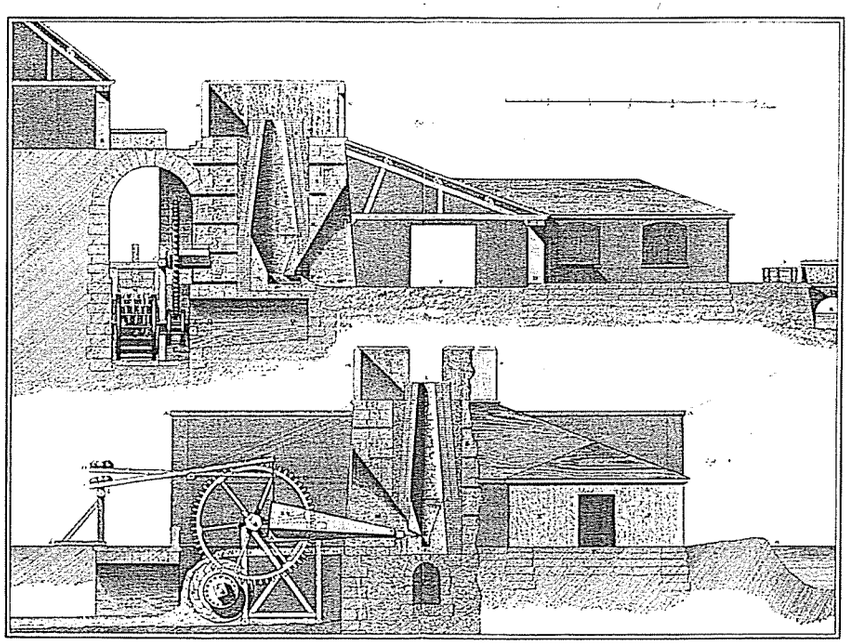


Şekil – 7.48: Demir madeni. Yeraltından demir cevherinin çıkartılması. [Diderot, I, Plate 82].

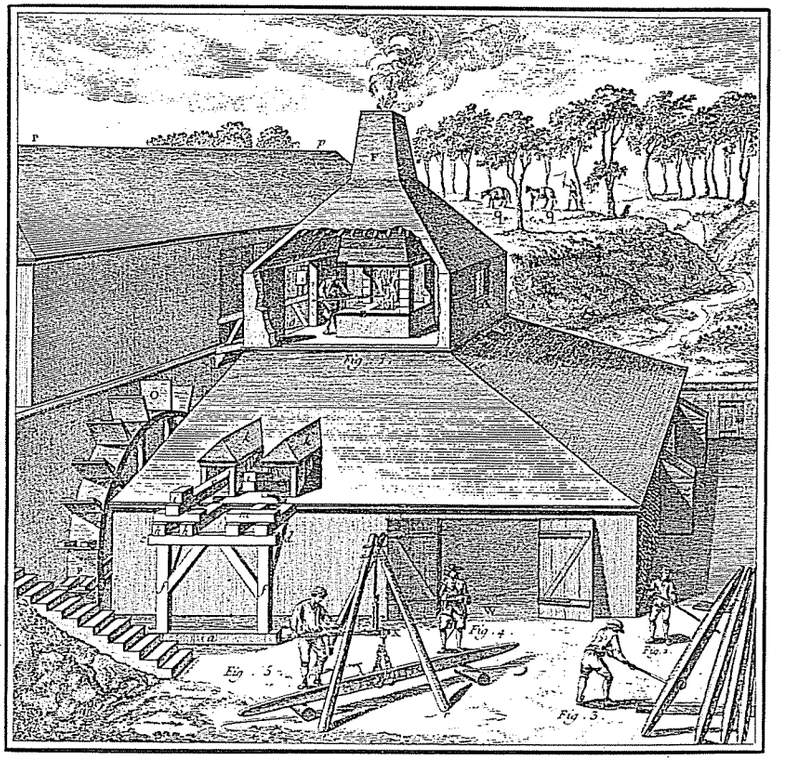
Şekil – 7.49: Bataklıklarda piritin biyooksidasyonu sonucu oluşan demir oksitlerin toplanması. [Diderot, I, Plate 83].



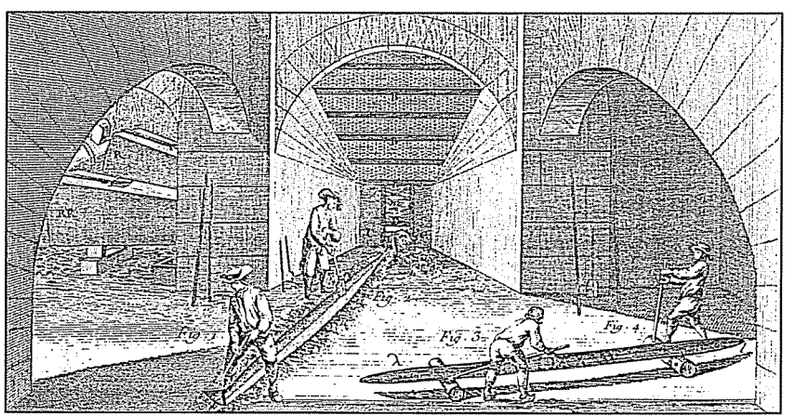
Şekil – 7.50: Demir cevherinin yıkanarak temizlenmesi. [Diderot, I, Plate 85].



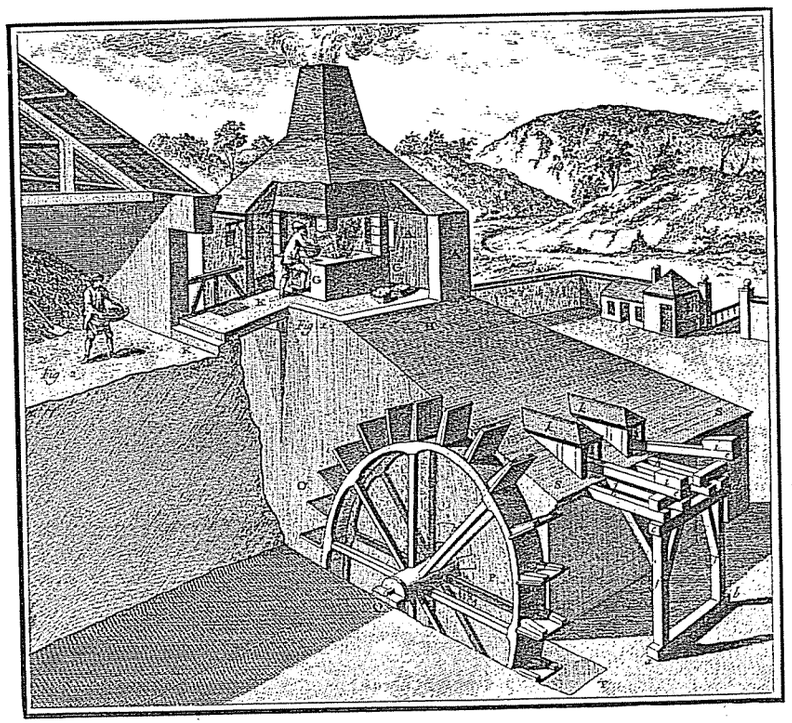
Şekil – 7.51: Yüksek fırının kesiti. Burada yüksek fırın, fırına hava veren körükler ve körükleri çalıştıran su çarkı görülmektedir. Yandaki büyük bina odun kömürü eposudur. [Diderot, I, Plate 87].



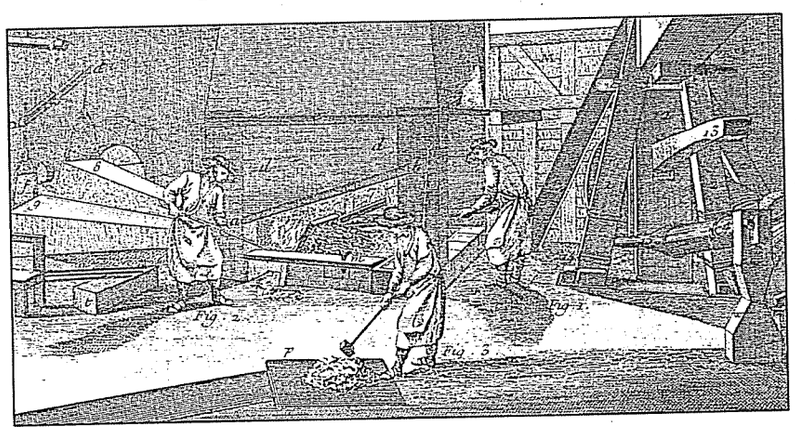
Şekil – 7.52: Yüksek fırının yüklenmesi, körükleri çalıştıran su çarkı ve üretilmiş pik demir külçelerinin tartılması. [Diderot, I, Plate 86].



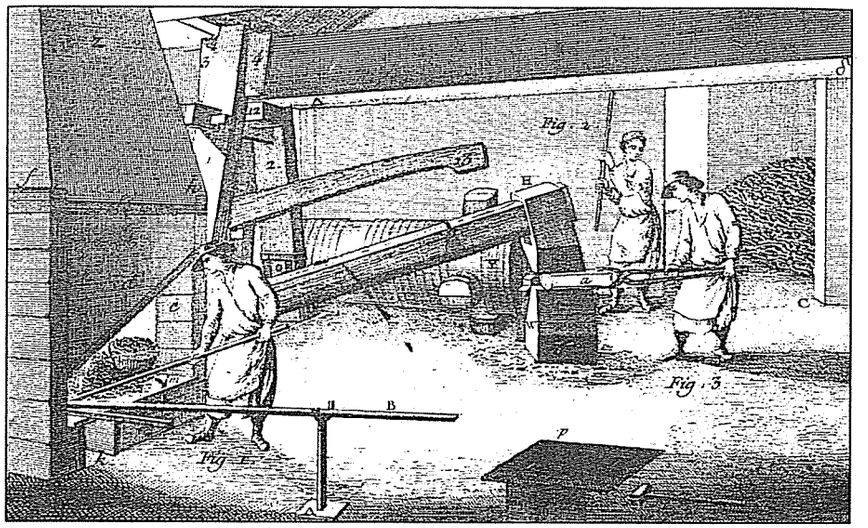
Şekil – 7.53: Üretilen pik demirin büyük külçeler halinde dökülmesi. [Diderot, I, Plate 90].



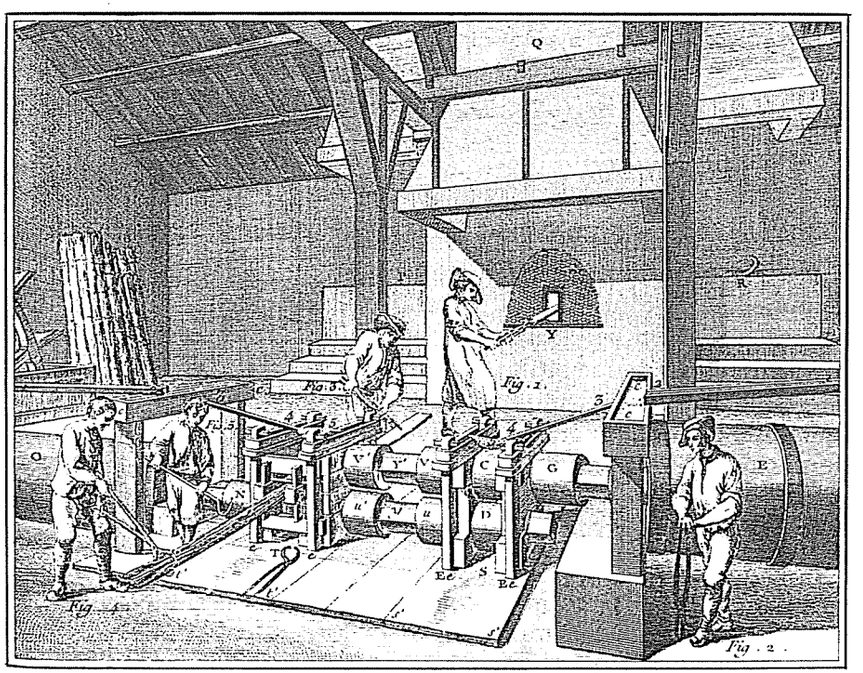
Şekil – 7.54: Yüksek fırının yüklenmesi. Gerekli maddeler sepetlerle taşınıp fırının üstünden dolduruluyor. Aşağıda körükleri çalıştıran su çarkı görülmektedir. [Diderot, I, Plate 89].



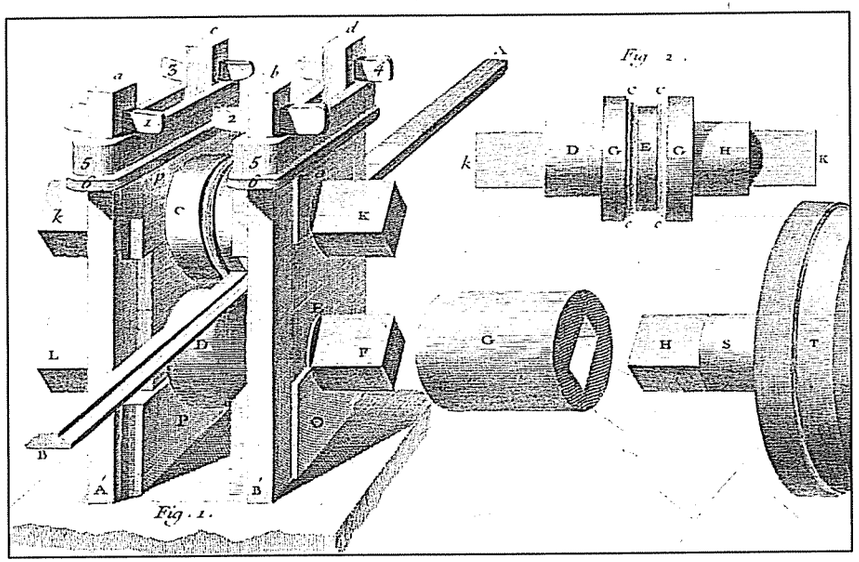
Şekil – 7.55: Dövme demir elde edilmesinde kullanılan açık ocak. Burada ham demir yeniden odun kömürü ile işleme sokulur ve ardından büyük çekiçler kullanılarak dövülür. [Diderot, I, Plate 95].



Şekil – 7.56: Dövme demir elde edilmesi. [Diderot, I, Plate 96].



Şekil – 7.57: Sıcak haddeleme. Dövme demirin su çarkıyla çalışan haddeler yardımıyla sıcak olarak haddelenmesi. [Diderot, I, Plate 99].



Şekil – 7.58: Haddenin yapısı. Sıcak haddeleme işleminde kullanılan haddenin ayrıntılı çizimi. [Diderot, I, Plate 100].

YÜKSEK FIRININ GELİŞMESİ

Yüksek fırının gelişmesi

Yüksek fırın sürekli bir gelişim göstermiş olup bu gelişimini günümüzde de sürdürmektedir. Burada iki önemli gelişme söz konusudur. Bunların birincisi odun kömürü yerine kok kömürü kullanılması ve ikincisi de fırına üflenen havanın önceden ısıtılarak bir yanndan yakıt tasarrufu sağlanması ve öte yandan da daha yüksek sıcaklıkların elde edilebimesidir. Bu gelişmeler yüksek fırınların boyutunu ve demir sanayiinin yapısını belirlemiştir.

Odun kömüründen kok kömürüne geçiş

İngiltere'de Coalbrookdale'de demir üretimi ile uğraşan, 1702'de ilk metalurji laboratuvarını kuran ve 1707'de ilk kez kum kalıplara döküm yöntemini uygulayan Abraham Darby (1677 – 1717) (Şekil – 7.59) tarafından 1710'da demir elde

edilmesinde ilk kez kok kömürü kullanıldı.[4] Bununla birlikte 1750'lere kadar demir üretiminde kok kömürü kullanan yalnız kendisi ve oğlu oldu. Bu tarihten sonra kok kömürü kullanılması yaygınlaşmaya başladı. 1760'da kok kömürü ile çalışan 14 fırın vardı ve bu sayı 1770'lerin başında iki katına çıktı. 1750 – 1791 dönemi için İngiltere'de yüksek fırınlarda odun kömüründen kok kömürüne geçiş ve bunun demir üretiminde getirdiği artış (Çizelge – 7.1)'de verilmiştir.

ÇİZELGE – 7.1
Yüksek fırınlarda odun kömüründen kok kömürüne geçiş ve üretimde getirdiği artış (1750 – 1791) [Selmeier, s. 119]

Yıllar	Odun kömürü			Kok kömürü				
	Odun kömürü ile çalışan fırın sayısı	Bir fırının ortalama üretimi (ton)	Toplam üretim içindeki pay (ton)	Kok kömürü ile çalışan fırın sayısı	Bir fırının ortalama üretimi (ton)	Toplam üretim içindeki pay (ton)	Toplam ham demir üretimi (ton)	Kok kömürü ile ham demir üretiminin toplam üretim içindeki payı (%)
1750	71	375	26 625	3	500	1 500	28 125	5
1760	64	400	25 600	14	700	9 800	35 400	28
1775	44	450	19 800	30	800	24 000	43 800	55
1780	34	500	17 000	43	850	36 500	53 550	68
1785	28	500	14 000	53	900	47 700	61 700	77
1788	26	558	14 500	60	925	55 500	70 000	79
Mayıs 1790	25	500	12 500	81	925	74 925	78 425	86
Aralık 1791	22	432	9 500	85	950	80 700	90 200	90

4 *Abraham Darby (1678 – 1717):* Demirciliği bir çiftçi olan babasının çiftliğinde bulunan ve nal, çivi gibi malzemeyi üretmek için kullanılan küçük bir demirci atölyesinde çalışarak öğrendi. Birmingham'da bir malt üreticisinin yanına çırak oldu ve 1699'da Bristol'de kendi ticarethanesini açtı. 1704'de Hollanda'yı ziyaret ederek pirinç dökümcülüğünü inceledi ve dönüşünde bir pirinç döküm atölyesi kurdu. 1707'de demir dökümünde kil kalıp yerine kum kalıp kullanılmasını ortaya koydu. Shropshire'daki Coalbrookdale'de eski bir demir fırını satın alarak deneylere başladı ve 1711'de odun kömürü yerine kok kömürü kullanarak demir üretmeyi başardı. Bu devrimsel dönüşümü oğlu Abraham Darby II (1711 – 1763) geliştirerek sürdürdü ve Thomas Newcomen için buhar makinesi silindirleri dökmeye başladı. 1755 – 1756'da demir fırınlarına iki tane Newcomen buhar makinesi ile çalışan körüklerle hava vermeye başladı. Torunu Abraham Darby III (1750 – 1789) demirin gücünü göstermek için başka bir demir üreticisi olan Jonhn Wilkinson (1728 – 1808) ile birlikte 1779'da Coalbrookdale'de Severn Nehri üzerine bütünüyle dökme demirden 30 m açıklığında ve 12 m yüksekliğinde bir köprü yaptı. [Day ve McNeil, s. 193].

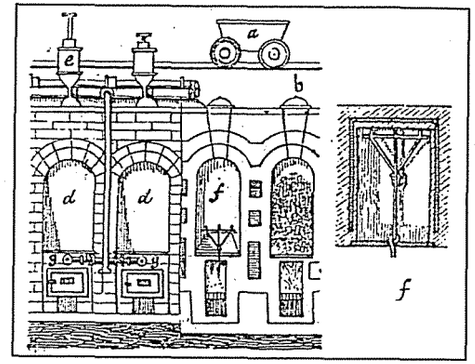
Zaman içinde yüksek fırınlarda ortaya çıkan gelişmeler sonucunda kullanılan kömür miktarı giderek azalmıştır. Çeşitli dönemlerde bir ton ham demir elde etmek için kullanılan kömür miktarları (Çizelge – 7.2)'de verilmiştir.

ÇİZELGE – 7.2
Çeşitli dönemlerde 1 ton ham demir üretimi için kullanılan kömür miktarı ve bir yüksek fırının günlük üretimi
[Henseling, s. 15

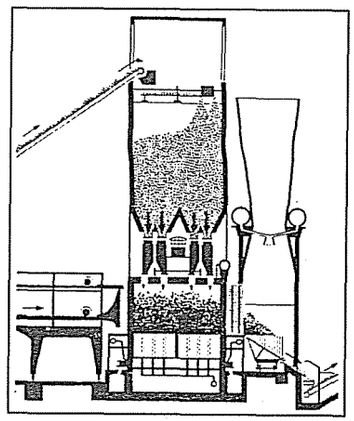
Dönem	Kömür tüketimi	Günlük üretimi	Teknik yenilikler
XVII. yüzyıl	8 ton odun kömürü	Yaklaşık 2 ton	Geç Ortaçağ tekniğinin geliştirilmesi. Yaklaşık 30 ton odundan 8 ton odun kömürü ve bundan da 2 ton demir elde edilir. Bu miktar yılda yaklaşık olarak 5 hektar kayın ormanının yok edilmesine karşılıktır.
XVIII. yüzyıl	8 ton kok kömürü		1710'da Darby tarafından odun kömürü yerine kok kömürü kullanılmaya başlandı ve bunun sonucunda yüksek fırınlar büyüdü.
1830'lar	5 ton kok		İlk sıcak hava üflemeli yüksek fırın.
1840'lar	2,5 ton kok	20 – 30 ton	Üflenen havanın ısıtılması için yüksek fırın gazlarından yararlanma.
1900'ler	1 ton kok	1000 tona kadar	Bunsen'in 1838'de yaptığı yüksek fırın gazlarına ilişkin çalışmalardan yüksek fırın süreçlerinde yararlanma.
1980	0,5 ton kok	10.000 tona kadar	Modern analiz, ölçüm ve kontrol sistemlerinin kullanıldığı otomatik üretim.

Bu gelişmelerin sonucunda demir sanayii ormanların yakınından demir ve kömür madenlerinin yakınına göç etmeye başladı. Gerekli kok kömürünün elde edilmesi için demir işletmelerinin yanında kok fırınları da kurulmaya ve koklaştırma sırasında çıkan havagazı da özellikle çelik elde edilmesinde yakıt olarak kullanılmaya başlandı. (Şekil – 7.60 ve 7.61). Bu gelişmeye ek olarak 1775'lerde buhar makinesi ile çalışan körüklerin kullanılmaya başlanması üretimde büyük bir artış sağladı ve XIX. yüzyılın ilk on yılında İngiltere'nin demir üretimi 250.000 ton/yıl düzeyine ulaştı. (Şakil – 7.62).

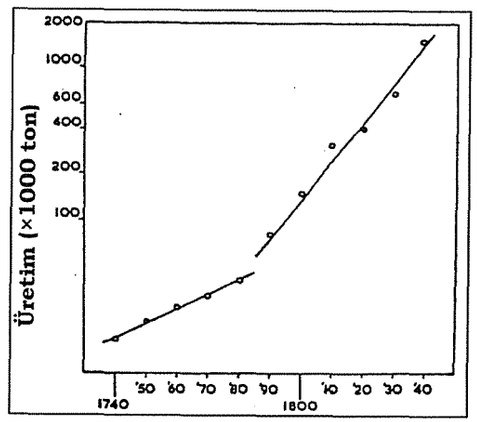
Şekil – 7.59: Abraham Darby (1678 – 1717).



Şekil – 7.60: XIX. yüzyılda kok fırınları. a = kömür arabası, b = fırınların yükleme kapakları, c = kömürle yüklü fırın, d = birbirine bağlı fırınlar, e = damıtma ürünlerini toplayan kısım, f = kömür çekme tarağı, g = havagazını toplayan borular. [Bory, s. 80].



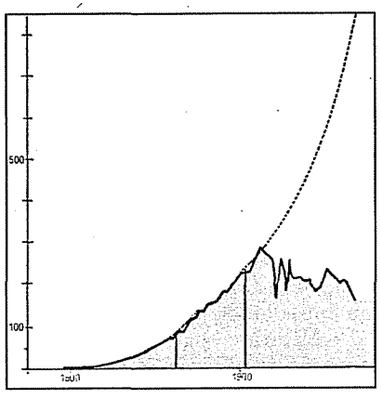
Şekil – 7.61: XIX. yüzyıla ilişkin bir kok fırını. [Henseling, s. 129].



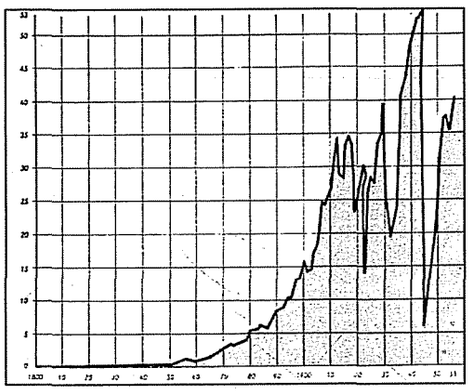
Şekil – 7.62: İngiltere'de ham demir üretiminin 1740 – 1839 dönemindeki artışı. [Derry ve Williams, s. 476].

Demir ve çelik üretiminde en önemli hammaddelerden birini kömür oluşturur. Demir sanayi önce İngiltere ve ardından Almanya'da gelişmiştir. Demir üretiminin gelişimine bağlı olarak İngiltere ve Almanya'da kömür üretiminin artışı (Şekil – 7.63 ve 7.64)'de verilmiştir. Buradaki grafiklerin

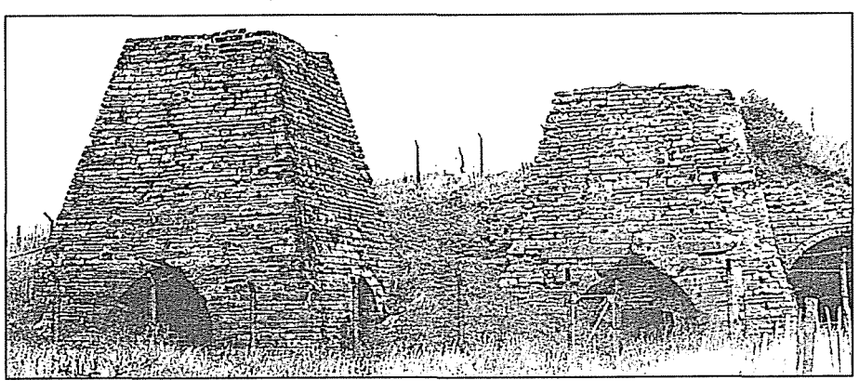
incelenmesinden Almanya'daki üretim artışının gecikmeli olarak başladığı açıkça görülmektedir. Odun ve kok kömürü ile çalışan çeşitli fırınlar (Şekil – 7.65, 7.66, 7.67, 7.68, 7.69 ve 7.70)'de ve Coalbrookdale köprüsü (Şekil – 7.71)'de verilmiştir.



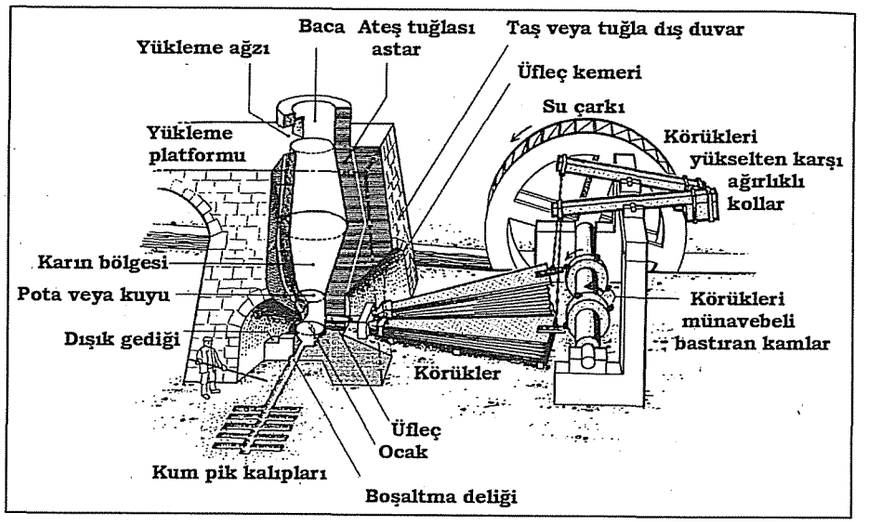
Şekil – 6.106: 1800 – 1970 döneminde İngiltere'nin taşkömürü üretimi. 1860'dan itibaren yılda % 2'lik bir artış başlamış, 1910'da sonra su ve petrol gibi başka enerji kaynaklarının öne geçmesiyle düşüş eğilimine girmiştir. [Varchmin ve Radkau, s. 117].

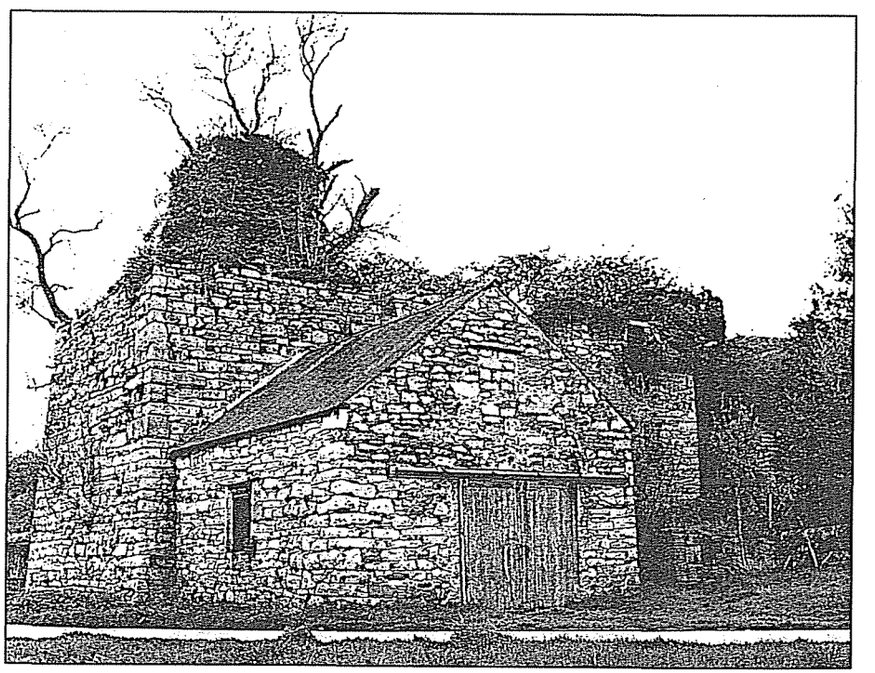


Şekil – 6.107: 1800 – 1955 döneminde Almanya'nın kok kömürü üretimi. Üretimdeki düşüşler savaş sonrasına ve ekonomik kriz dönemlerine karşılık gelmektedir. [Varchmin ve Radkau, s. 116].

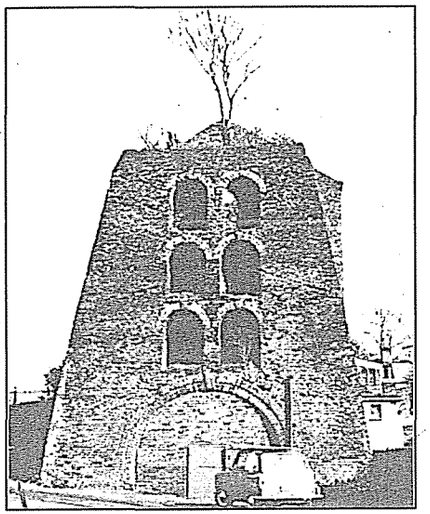


Şekil – 7.65: İngiltere'de Derbyshire'deki Heage/Morley Park'da bulunan eski yüksek fırınların kalıntıları. (1780 – 1815). [Cossons, s. 114].

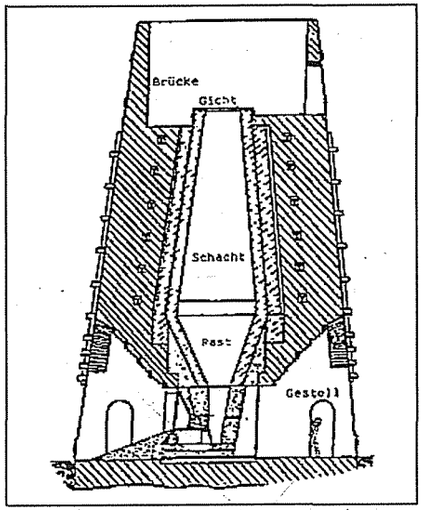




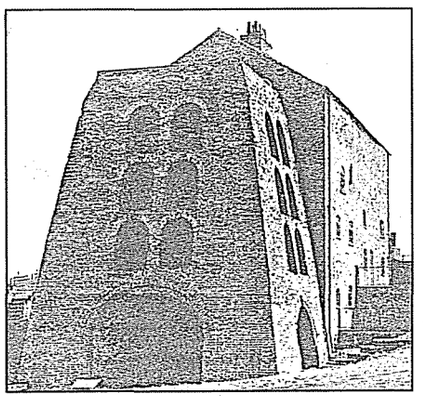
Şekil – 7.66: İngiltere'de Argyll'de bulunan ve odun kömürü ile çalışan yüksek fırının kesiti ve günümüze ulaşan kalıntının dıştan görünümü. [Cossons, s. 110 – 111].



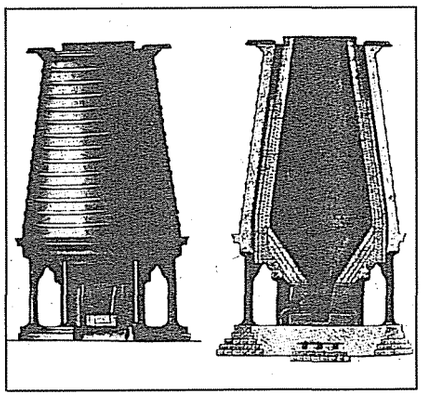
Şekil – 7.67: 1800'de İngiltere'de Leicestershire yakınlarındaki Moira'da kokla çalışan bir yüksek fırının dıştan görünümü. [Selmeier, s. 116].



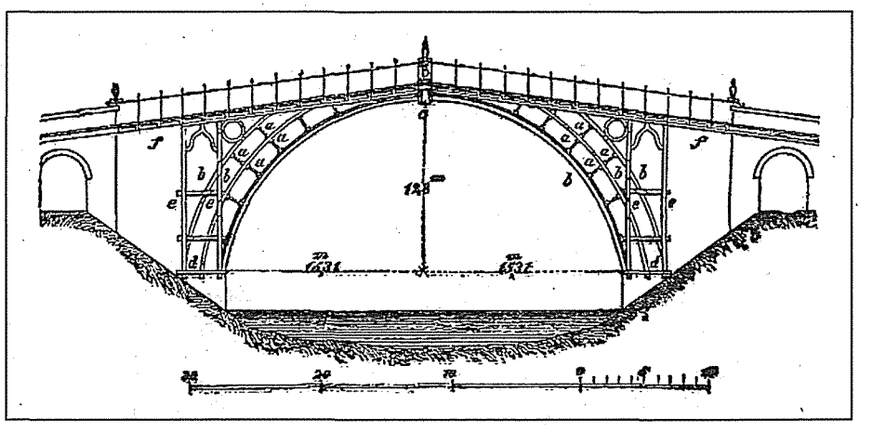
Şekil – 7.68: Ruhr bölgesindeki Mülheim'de 1849'da kurulan kok kömürü ile çalışan ilk Alman yüksek fırını. Fırının yüksekliği 13 m ve çapı da 3,5 m dir. [Selmeier, s 116].

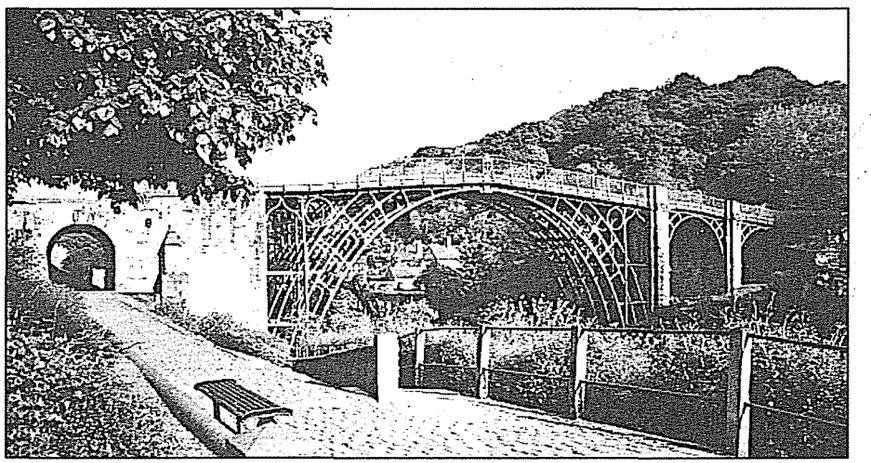


Şekil – 7.69: İngiltere'de Leicestershire'de 1804'de yapılmış olan kok ile çalışan yüksek fırın. [Cossons, s. 113].



Şekil – 7.70: Kok ile çalışan yüksek fırın. (1838). [Henseling, s. 84].





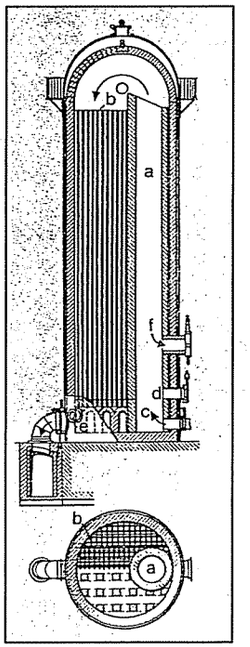
Şekil – 7.71: Abraham Darby'nin torunu olan Abraham Darby III (1750 – 1789) tarafından demirin gücünü göstermek için demir üreticisi John Wilkinson (1728 – 1808) ile birlikte 1779'da Coalbrookdale'de Severn Nehri üzerine bütünüyle dökme demirden yapılan köprü. 30 m açıklığında ve 12 m yüksekliğinde olan bu köprü günümüzde de kullanılmaktadır.

Yüksek fırında havanın önceden ısıtılması

Demir elde edilmesinde odun kömüründen kok kömürüne geçilmesinin ardından çok önemli ikinci gelişme fırına üflenen havanın önceden ısıtılmasıdır. Fırına üflenen havanın önceden ısıtılması sonucunda ısı kaybının azalacağı

ve daha yüksek sıcaklıkların daha az kömür kullanılarak elde edilebileceği anlaşılmıştır. İngiliz Edward Alfred Cowper (1819 – 1893)[5] (Şekil – 7.72) 1857'de fırından çıkan baca gazları ile fırına verilecek havanın önceden ısıtılmasını sağlayan bir sistem geliştirmiştir. (Şekil – 7.73).

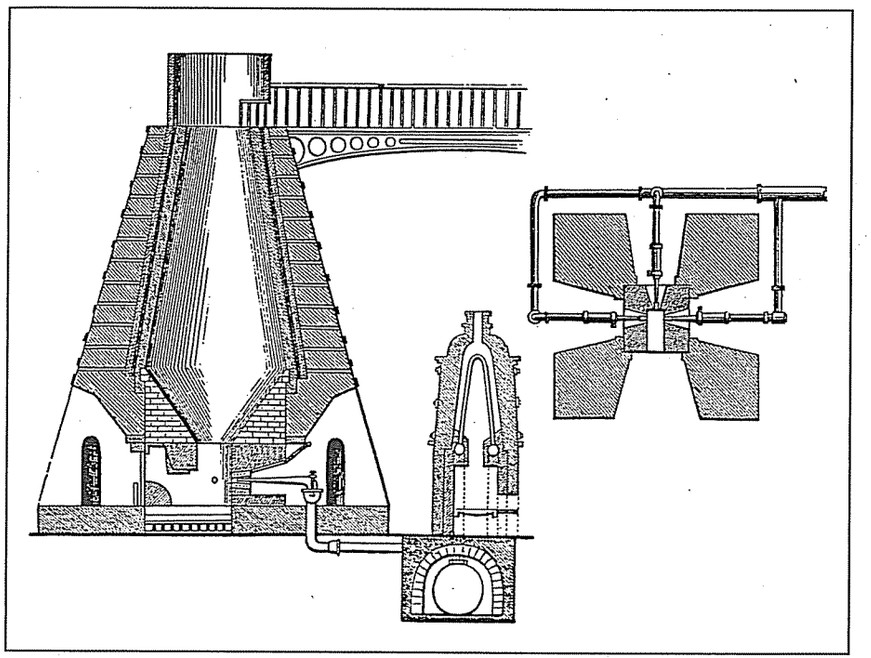
Şekil – 7.72: Edward Alfred Cowper. (1819 – 1893).



Şekil – 7.73: Yüksek fırına verilen havanın ısıtıldığı Cowper cihazı (kulesi). [Heynert ve Willems, s. 691].

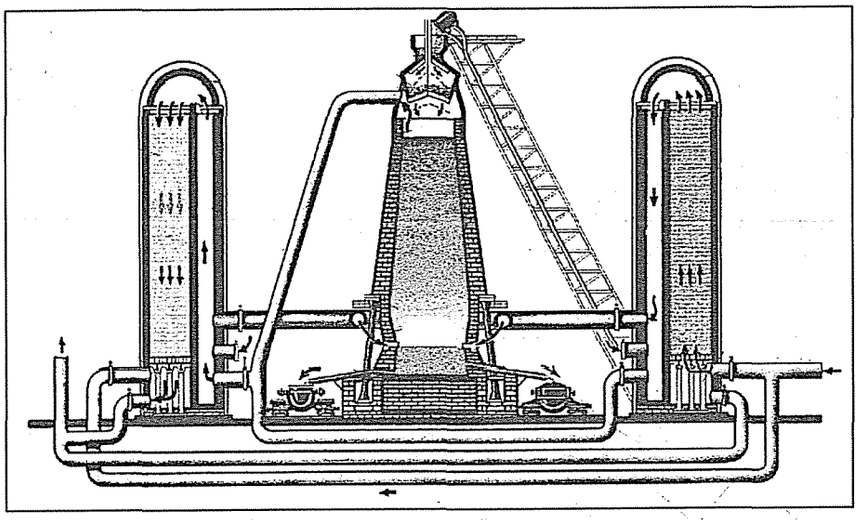
5 *Edward Alfred Cowper (1819 – 1893):* Londra'da doğdu ve 1834'de bir demiryolu mühendisinin yanına çırak olarak girdi. 1841'de bir patlamalı demiryolu sis sinyali yaptı. Daha sonra başka bir demiryolu mühendislik şirketine geçti ve demiryolu sandalyelerenin dökümü için bir yöntem geliştirdi. Birmingham'daki New Street istasyonunun 64,3 m enindeki demir ve camdan oluşan büyük çatısını yaptı. 1851'de demir ve camdan yapılmış olan Crystal Palace'ın tasarımına katkıda bulundu. 1851 sonunda kendi mühendislik danışma şirketini kurdu. 1857'de yüksek fırınlara verilen havanın önceden ısıtılması için kendi adıyla Cowper ısıtıcısı olarak anılan ısıtma sistemini geliştirdi. Bir elektrikli telgraf da geliştiren cowper 1847'de Institution of Mechanical Engineer [Makine

Kendi adıyla *Cowper kuleleri* olarak anılan bu sistem yüksek fırının yanında bulunan ve içi aralıklı olarak ateş tuğlası ile doldurulmuş en az iki kuleden oluşur. Kulelerden birinden geçerek ısınan hava fırına üflenirken fırından çıkan sıcak gazlar ikinci kuleden geçirilerek içindeki tuğlaları ısıtır. Daha sonra hava ısınmış kuleden geçerek fırına verilir ve soğumuş olan diğer kule baca gazları ile ısıtılır. Cowper önısıtma kulelerine ilişkin çeşitli örnekler (Şekil – 7.74, 7.75, 7.76, 7.77, 7.78 ve 7.79)'da verilmiştir.

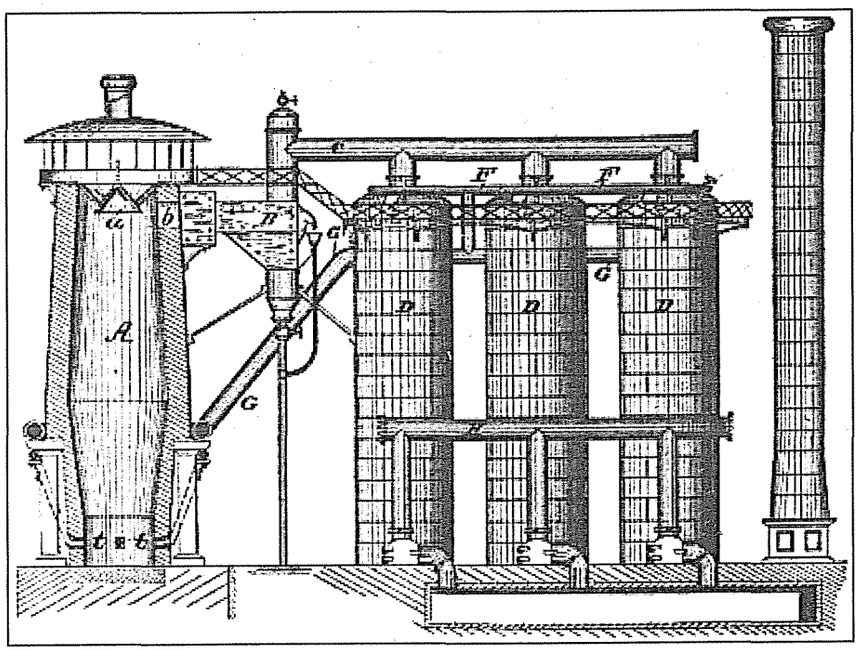


Şekil – 7.74: XIX. yüzyılın ortalarına ilişkin bir İngiliz yüksek fırınının kesiti. Üflenen hava için bir ön ısıtma sisteminin kullanıldığı görülmektedir. [Cossons, s. 113].

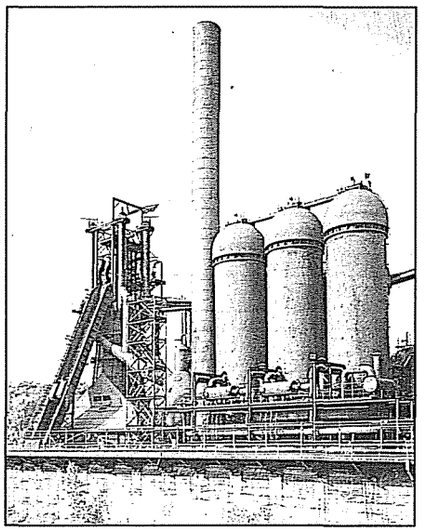
Mühendisleri Kurumu/Odası]'nın kuruluşuna katkıda bulundu ve 1880 – 1881'de başkanlığını yaptı. [Day ve McNeil, s. 172].



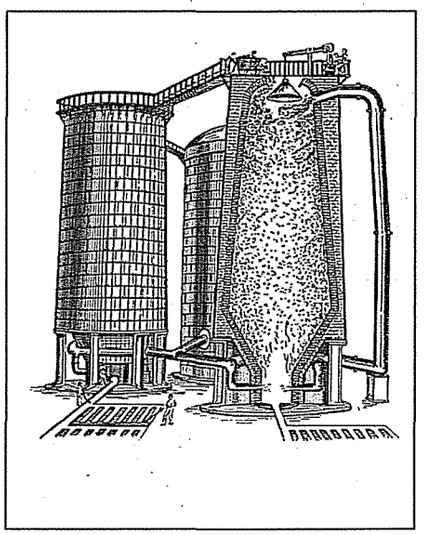
Şekil – 7.75: Bir yüksek fırının iki tane Cowper kulesi ile çalışması.



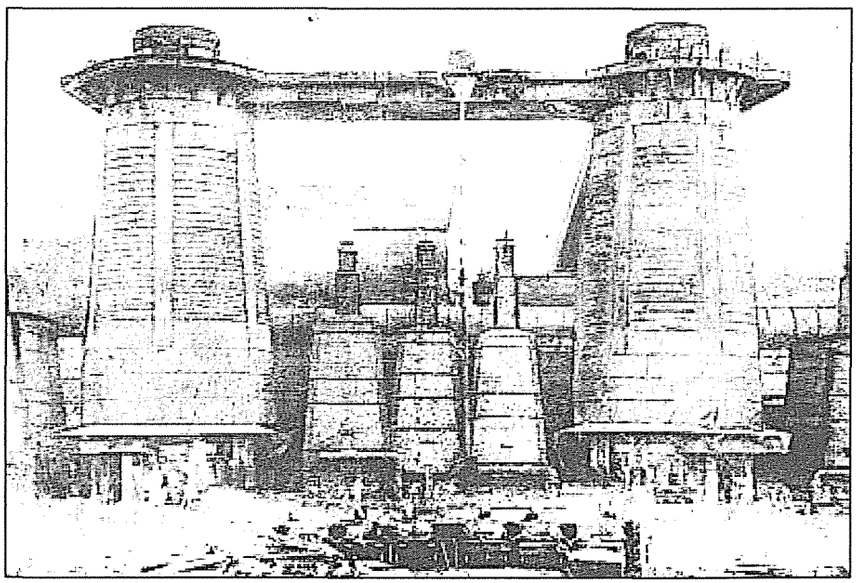
Şekil – 7.76: Üç Cowper kulesi ile çalışan bir yüksek fırının şeması.



Şekil – 7.77: Üç tane Cowper kulesi ile çalışan bir yüksek fırın.



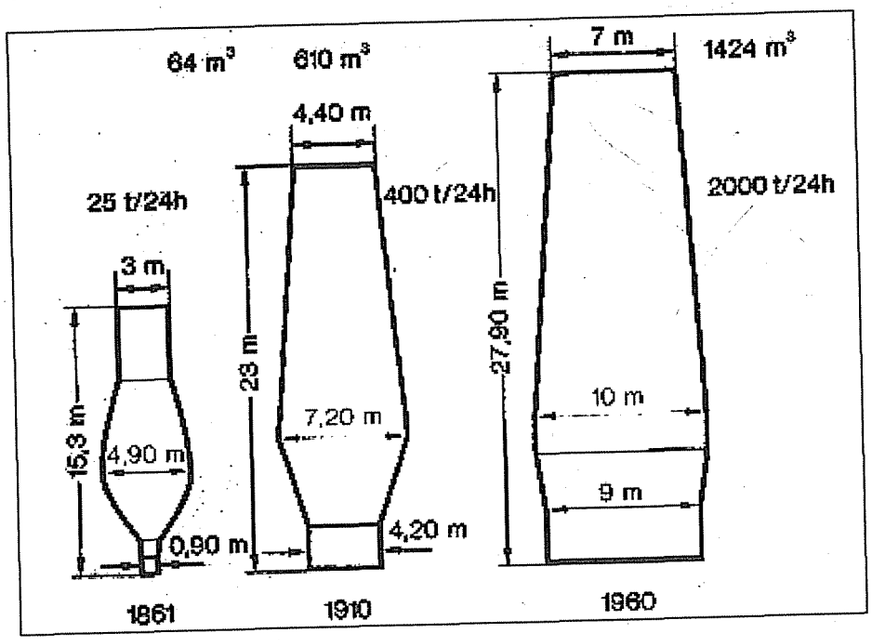
Şekil – 7.78: İki tane Cowper kulesi ile çalışan bir yüksek fırın.



Şekil – 7.79: Sheffield'de üç tane Cowper ısıtma kulesi ile çalışan iki yüksek fırının kalıntısı.

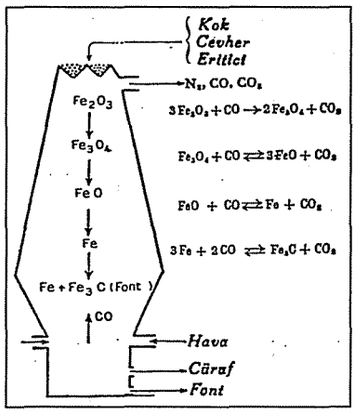
Yüksek fırının gelişmesi

Zaman içersinde yüksek fırının kesiti taban tabana birleştirilmiş iki kesik koni biçimine gelmiş, çapı ve yüksekliği özellikle odun kömürü yerine kok kömürü kullanılmaya başlanmasından, üflenen havanın önceden ısıtılmasından ve hava üflemede buhar makinelerinin kullanılmasınrdan sonra giderek artmıştır. (Şekil – 7.80).

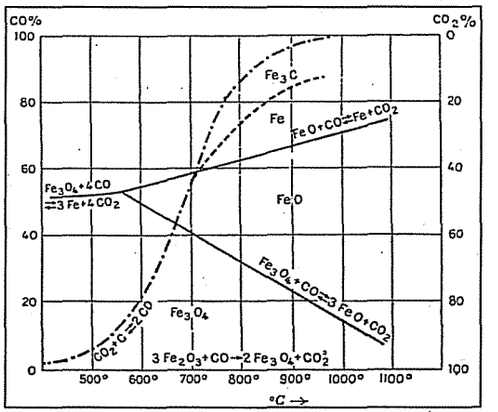


Şekil – 7.80: Yüksek fırının 1861 – 1960 döneminde boyunun, çapının ve hamcının artışı. [Heynert ve Willems, s. 690].

Demir ve çelik teknolojisindeki gelişmeler uzun süre sınama yanılma yoluyla ortaya konulmuş olmakla birlikte özellikle XIX. yüzyılın ortasından itibaren olaylar kimyasal olarak incelenmeye ve yönlendirilmeye başlanmıştır. (Şekil – 7.81 ve 7.82). Öte yandan mümkün oldugu kadar yakıt tasarrufu sağlamak için fırınlara verilen havanın ön ısıtmadan geçirilmesini metalurjik süreçlerin termodinamik olarak incelenmesi izlemiştir.



Şekil – 7.81: Yüksek fırındaki indirgenme reaksiyonları. [Terem, s. 311].



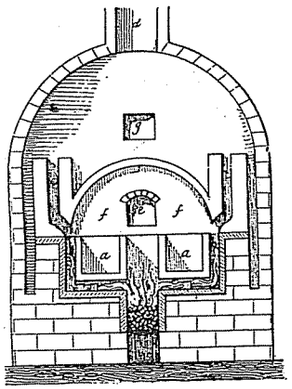
Şekil – 7.82: Yüksek fırında CO, CO_2 ve çeşitli katı fazlar arasındaki dengeye sıcaklığın etkisi. [Terem, s. 310].

ÇELİK ELDE ETME YÖNTEMLERİ

Sementasyon yöntemi

Eskiçağ ve Ortaçağ'da elde edilen demir fırından katı halde çıkıp demirci ocağında uzun süre ısıtılıp dövülerek külça haline getirildiğinden karbon oranı düşük olan dövme demirdir. Çelik elde etmek için demirin içindeki karbon oranının arttırılması gerekir. Bu amaçla geliştirilen yöntem *sementasyon yöntemi*'dir. Dövme demir bir pota içinde bol odun kömürü ve karbonlu maddelerle birlikte bir demirci ocağında kızıl drecede havasız ortamda 7 – 12 gün ısıtılırsa % 2 dolayına kadar karbon absorplar. Ancak, sementasyon yönteminde demir külçesinin dışı sertleşirken iç bölge yumuşak kalır. (Şekil – 7.83). Daha sonraları dökme demir elde edilince bunun elde edildiği sıcaklık dövme demiri eritmeyip daha düşük erime noktasına sahip olan dökme demiri eritecek düzeyde olduğundan ikinci bir yol olarak bir potada bulunan erimiş dökme demir içina dövme demir külçeleri sokularak sementasyon yapılmıştır. Üçüncü bir yol olarak dökme ve dövme demir bir potada birlikte eritilmiştir.

Sementasyon yoluyla çelik elde edilmesi İ.Ö. 300'de Hindistan ve Sri Lanka'da ve Ortaçağ'da VIII – XII. yüzyıllarda Türkmenistan ve Özbekistan'daki Fergana Vadisi'nde gelişmiştir. Gerek Japonya'da üretilen Samuray kılıçları ve gerekse ünlü Şam ve Toledo kılıçları hep sementasyon yoluyla elde edilen çelikten elde edilmiştir. Bu yolla elde edilen kılıçların üstün nitelikleri dış kısımlarının sert ve keskin olmasına karşılık iç kısımlarının yumuşak ve esnek olmasından kaynaklanır.



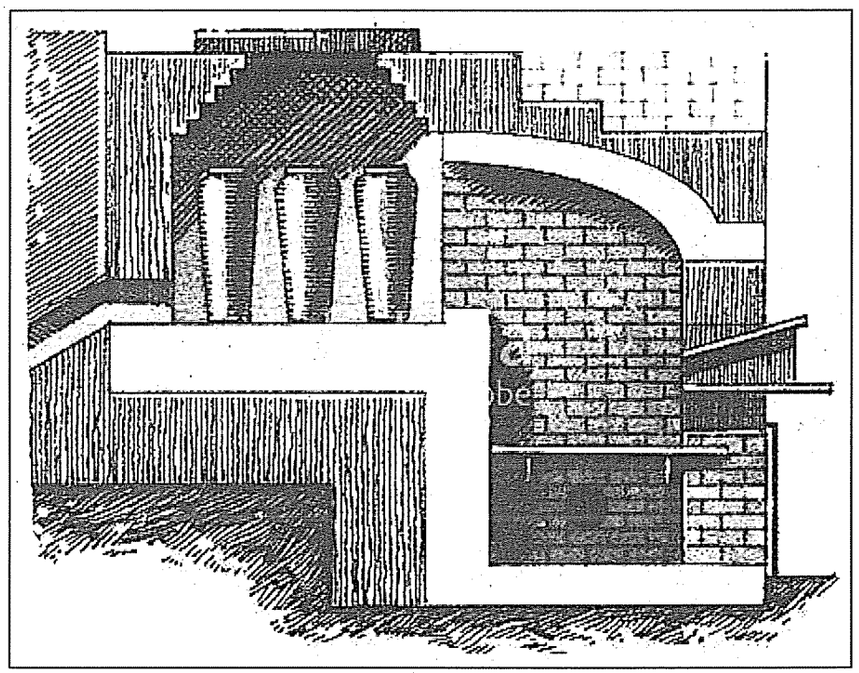
Şekil – 7.83: Eski bi sementasyon fırını. [Bory, s. 136).

Pota çeliği

Pota çeliği dökme demirin veya bazen çeliğin kum, cam, kül ve benzeri eriticilerle birlikte bir potada eritilmesiyle elde edilir. Bir saat yapımcısı olan Benjamin Huntsman (1704 – 1776)[6] sementasyon yoluyla elde edilen çeliğin saat yaylarını

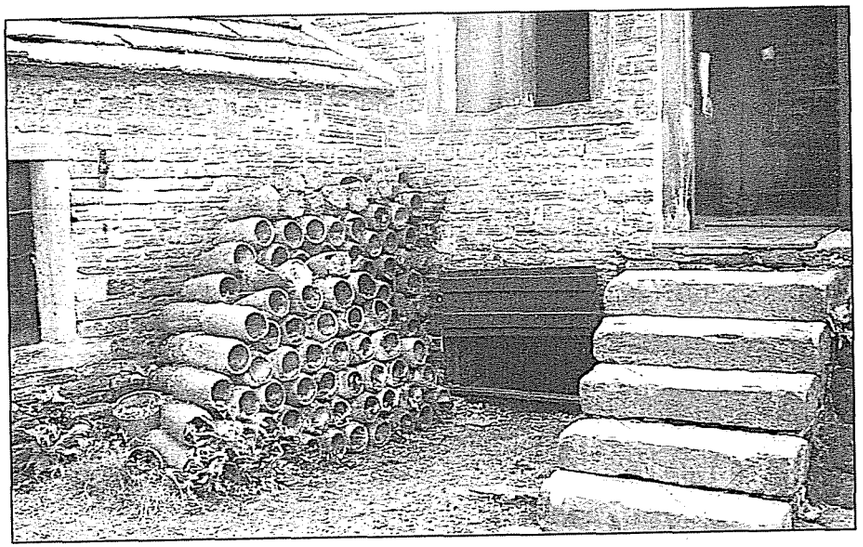
6 *Benjamin Huntsman (1704 – 1776):* Bir çiftçi çocuğu olarak Lincoln-shire yakınındaki Epworth'de doğdu. İş yaşamına 1725'de Yorkshire'deki Doncaster'de saat, kilit ve alet yapımcısı olarak başladı. Bu arada pratik cerrahlık ve göz hekimliği ile de ilgilendi. Mevcut çelikler saat yayı yapımı için uygun olmadığından çelik yapımı konusunda denemelere başladı. Daha sonra Sheffield yakınındaki Handsworth'e giderek denemelerini sürdürdü. Burada odun kömürü yerine kok kömürü kullanıp yüksek sıcaklıklar elde ederek pota yöntemi ile çelik üretimini geliştirdi. Buluşu için patent almadı ve üretim sırrı bir süre sonra bir demir üreticisi olan Samuel Walker tarafından keşfedildi. Huntsman yaptığı çalışmalar sonucunda çeliğe mangan gibi alaşım yapıcı metaller katıldığında bunların çelikteki oksijenin çıkmasına yardım ettiğini buldu. Bu buluşu yüz yıl sonra yeniden keşfedildi. Ölümünden sora işletmesi oğlu William

yapmak için uygun olmadığını görerek 1740'ların başında çalışmaya başladı ve 1742'de bir yöntem geliştirdi. Bu yöntemde kil potalara 15 kg dolayında pik demir veya sementasyon yoluyla elde edilmiş blister çeliği ve eritici konularak 1600 °C ye çıkabilen bir kok fırınında beyaz derecede üç saat ısıtılır. Safsızlıklar dışık oluştururken geriye homojen yapıda çelik kalır. Böylece ilk kez bütünüyle homojen çelik elde edimiştir. Bu yöntemle çalışan işletmelere *crucible furnaces* [pota fırınları] adı verilmiştir. (Şekil – 7.84, 7.85, 7.86 ve 7.87). Sheffield'de XVIII. yüzyıl ortalarında İsveç dövme demirinden yılda 200 ton çelik yapılırken Huntsman'in yönteminin yaygınlaşması sonucunda yüz yıl sonra bu miktar yılda 80.000 tona çıkmıştır ve bu o dönemde Avrupa'nın çelik üretiminin yarısıdır. Bu yöntem 150 yıldan uzun bir süre en iyi çelik elde etme yöntemi olarak kullanılmış ve 1940'dan sonra elektrik fırınları öne çıkmıştır. (Şekil – 7.88).

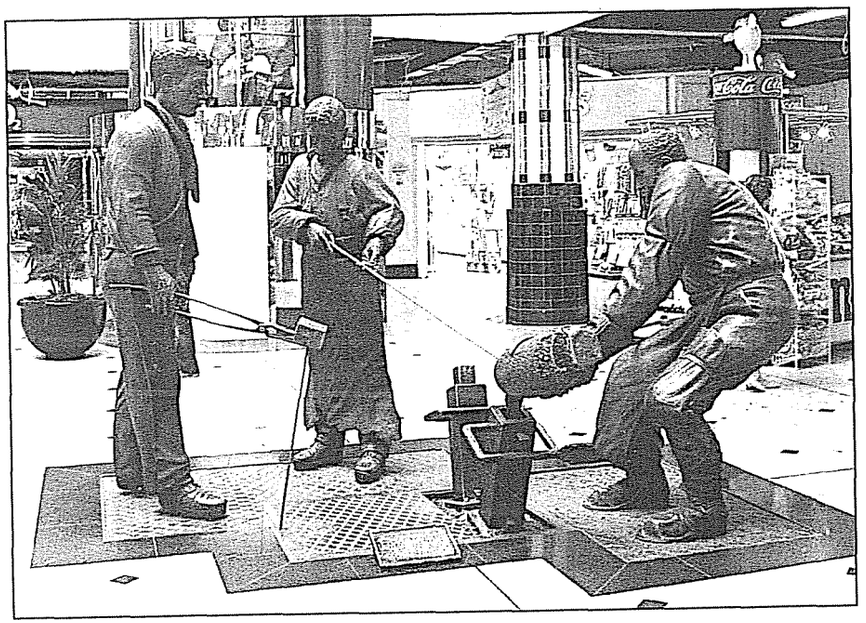


Şekil – 7.84: Bir pota fırınının kesiti.

Huntsman (1733 – 1809) tarafından südürüldü. [Day ve McNeil, s. 363 – 364].

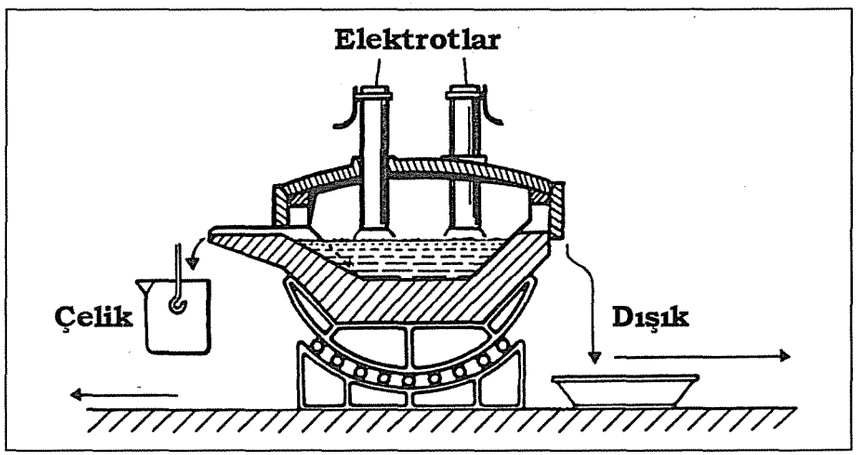


Şekil – 7.85: Kullanılmış kil potalar.



Şekil – 7.86: Pota çeliğinin potadan külçe kalıbına dökümünü temsil eden heykel.

Şekil – 7.87: Huntsman'in ürettiği çelikler için verdiği ilân.



Şekil – 7.88: Günümüzde çelik elde edilmesinde kullanılan elektrik fırını. Burada elektriğin çelik elde edilmesi üzerine bir etkisi olmayıp sadece gerekli sıcaklığı sağlamak için kullanılmaktadır. Elektrik fırınlarında çelik elde etme süreci çok daha iyi bir biçimde denetlenebilir.

Dövme demir elde edilmesi (Puddling yöntemi)

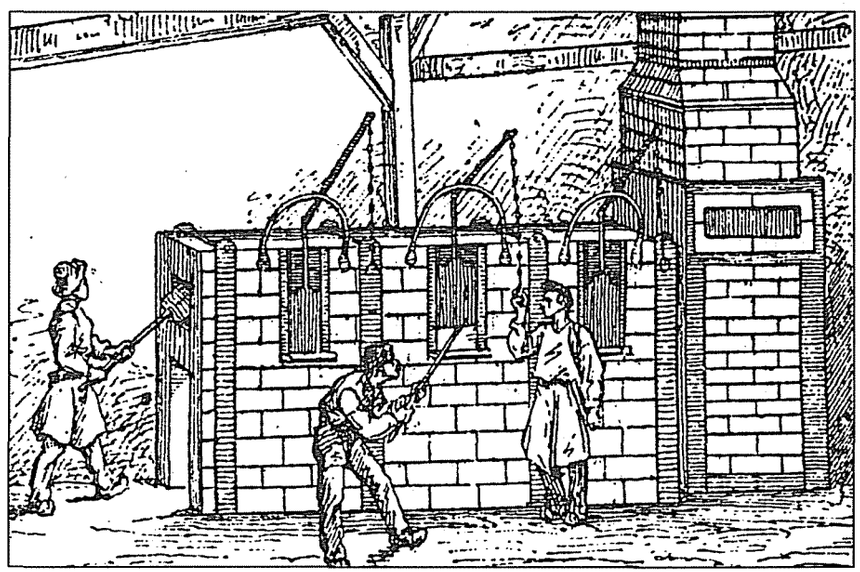
Dökme demirden dövme demir elde edilmesine ilişkin bu yöntemin esası Peter Onions (1724 – 1798) tarafından bulunarak 1783'de patenti alınmış olmakla birlikte geliştirilerek uygulanması Henry Cort (1740 – 1800)[7] **(Şekil – 7.89)** tarafından yapılarak 1783 ve 1784'de patenti alınmıştır.

Şekil – 7.89: Henry Cort (1740 – 1800).

Bu işlem için kullanılan fırın demirin doğrudan yakıtla temasta olmayıp sıcak hava ve yanma gazlarının üzerinden geçtiği reverber fırın veya açık fırın olarak bilinen fırının

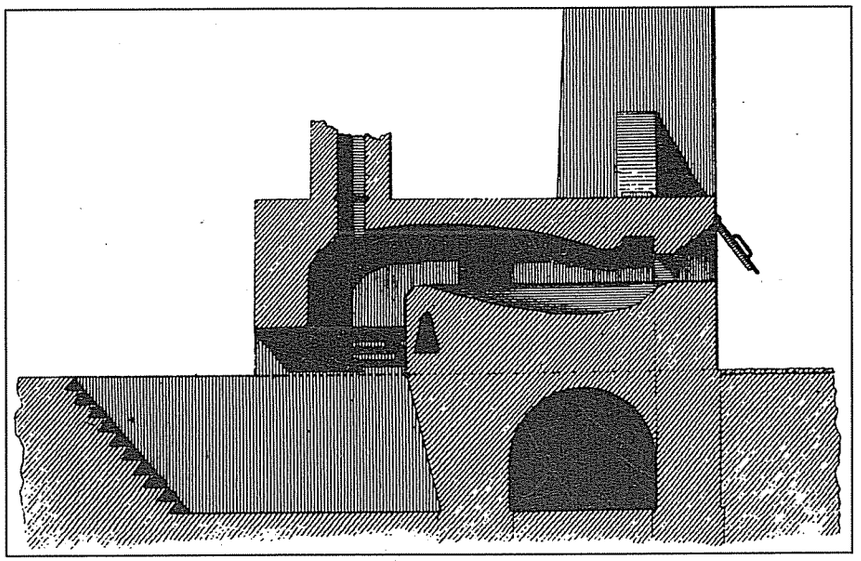
7 *Henry Cort (1740 – 1800):* 1765'de Londra'ya gelen Henry Cort on yıl donanmada çalıştıktan sonra biriktirdiği para ile 1775'da Portsmouth yakınında bir demirhane satın aldı. 1783'de bir levha rulosundan kesilen veya dövülen şeritlerden demir çubukların haddelenmesi konusunda hızlı ve ekonomik bir yöntem geliştirdi. Ertesi yıl Hampshire'de Farcham yakınındaki Fontley'de bir demir üretim işletmesi satın aldı ve çelik üretimi için erimiş pik demirin bir reverber fırında ısıtıp karıştırılarak içindeki karbonun hava oksijeni tarafından yakılmasına dayanan "puddling yöntemi"ni geliştirerek patentini aldı. Bu sırada Thomas ve Georg Crenage kardeşler de çözüme yaklaşmış oldukları halde sorunu Cort çözdü. Cort'un çelik elde etme yöntemi çelik üretiminde çok büyük bir artış getirerek 20 yıl içinde İngiliz çelik üretimi dörde katlandı. [Day ve McNeil, s. 168].

benzeridir. Burada yapılan işleme *puddling yöntemi* ve içindekileri karıştırmak için yanında kapağı bulunan bu özel fırına *puddling fırını* adı verilir.[8] (Şekil – 7.90, 7.91 ve 7.92). İşlemden önce fırının içi demir oksit ve özellikle de hematit ile kaplanarak 150 kg dolayında pik demir konulur. Demirin yüzeyi eriyince bir ucu kanca biçiminde olan uzun bir demir çubuk yardımıyla oksitlerle şiddetle karıştırılır. Demir oksitlerdeki oksijen demirin içindeki silisyum, mangan, kükürt ve fosfor ile reaksiyona girerek bunların gaz halinde bacadan çıkmasına neden olur. Sonra fırına daha fazla yakıt eklenerek demirin erimesi sağlanır. Bu aşamada karbon karbon dioksit vererek yanmaya başlar ve dışık oluşur. Karbonun yanmasının ardından erime noktası yükselir ve kalan karbonun da yanmasından sonra demir süngerimsi bir kütle oluşturur. İşlem sonucunda yaklaşık 4 0 kg lık parçalar halinde fırından alınır ve bir buharlı çekiç kullanılarak dövülür. Dövme sırasında bir yandan kütle içinde kalmış olan dışık çıkar ve öte yandan da demir bir külçe haline gelir.

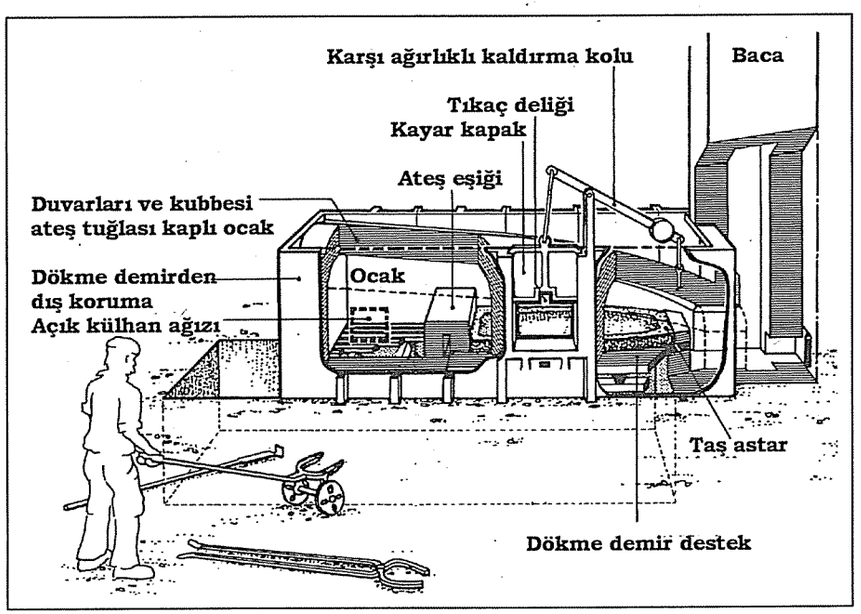


Şekil – 7.90: XVIII. yüzyıla ilişkin bir pudla fırını. [Bory, s. 109].

8 Bu fırına Türkçede "pudla fırını" adı verilir.



Şekil – 7.91: Bir pudla fırınının kesiti. [Henseling, s. 86].



Şekil – 7.92: Bir pudla fırınının kesiti ve kısımları. [Cossons, s. 118].

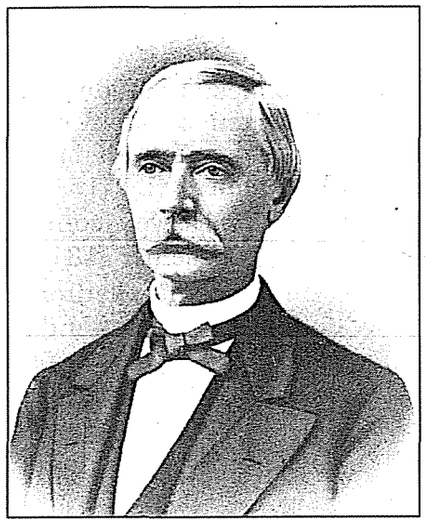
Bessemer yöntemi

Bessemer yöntemi ile çelik elde edilmesi ham demirin içindeki karbon fazlasının erimiş halde iken içinden hava üfleyerek yakılmasına dayanır. Bu konudaki ilk çalışmalar 1851 – 1856 yılları arasında Amerikalı William Kelly (1811 – 1888)[9] (Şekil – 7.93) tarafından yapılmış ve sonuca ulaşılmıştır. Bu dönemde İngiltere'de Henry Bessemer (1813 – 1898)[10] (Şekil – 7.94 ve 7.95) benzer bir yöntem geliştirerek 1856'da patentini almıştır. Bu işlem için Bessemer tarafından geliştirilen cihaz uygulamada çok daha pratik olduğundan öne geçmiştir. Böylece bu yöntemle çelik üretmi *Bessemer yöntemi* ve bu amaçla kullanılan cihaz da *Bessemer konvertörü* olarak adlandırılır. (Şekil – 7.96).

---

9 *William Kelly (1811 – 1888):* Western (günümüzdeki Pittsburgh) Üniversitesi"nde metalurji öğrenimi gördü. 1840'ların başında kardeşi ile birlikte demir elde etmek üzere "Eddyville Iron Works" adlı fabrikayı kurdu. Kelly 1851 – 1856 döneminde erimiş pik demirin içindeki karbon fazlası ve safsızlıkları gidermek için bunun içinden hava üflemeye ilişkin deneysel fırınlar ile araştırmalar yaptı. Bessemer'in 1856'da aldığı patenti öğrenince 1857'de bir patent aldı. 1859'da Philadelphia'daki Johnstown'daki Cambria Iron Works'de deneylerini yeniledi ve 1862'de bir çelik işletmesi kurarak iki yıl içinde Kelly yöntemine göre ilk ticari çelik üretildi.

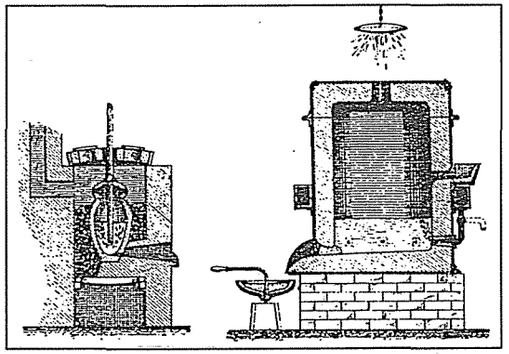
10 *Henry Bessemer (1813 – 1898):* Bir mucit ve matbaa harfi dökümcüsünün oğlu olan Bessemer öğreniminin önemli bir bölümünü babasının atölyesinde yaptı. Henüz 17 yaşındayken Londra'ya giderek demir döküm eşya pazarlamaya başladı ve 1830'da kendi atölyesini açtı. Kırım Savaşı sırasında dökme demir toplara geçiş yapılmakla birlikte dökme demir yeterli sağlamlıkta olmadığı için toplar parçalanıyordu. Bessemer pik demir yerine büyük ölçüde dövme demir elde edebilmek için daha sonra kendi adıyla anılacak olan bir konvertör geliştirdi ve 1856'da patentini aldı. Yöntemi içi kille kaplanmış bir potada bulunan erimiş pik demire alttan hava üfleyerek karbon fazlasını yakmaya dayanıyordu. Benzer bir yöntem birkaç yıl önce Amerika'da William Kelly tarafından da geliştirilmişti. Başlangıçta örneğin İsveç kökenli cevherler gibi düşük oranda fosfor ve kükürt içeren cevherleri işlemede başarılı olan Bessemer'in yöntemi daha sonra yüksek oranda fosfor ve kükürt içeren cevcherlerden elde edilen demirde başarısız oldu. Bessemer 1858'de Sheffield'de bir fabrika kurak düşük fosfor ve kükürt içeren İsveç kökenli cevherleri işlemeyi sürdürdü. Buluşları nedeniyle kendisine "sir" unvanı verildi. [Day ve McNeil, s. 63 – 64].

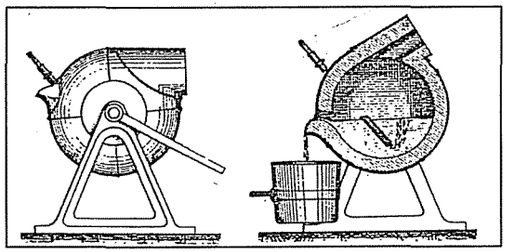


Şekil – 7.93: William Kelly. (1811 – 1888).

Şekil – 7.94: Henry Bessemer. (1813 – 1898).

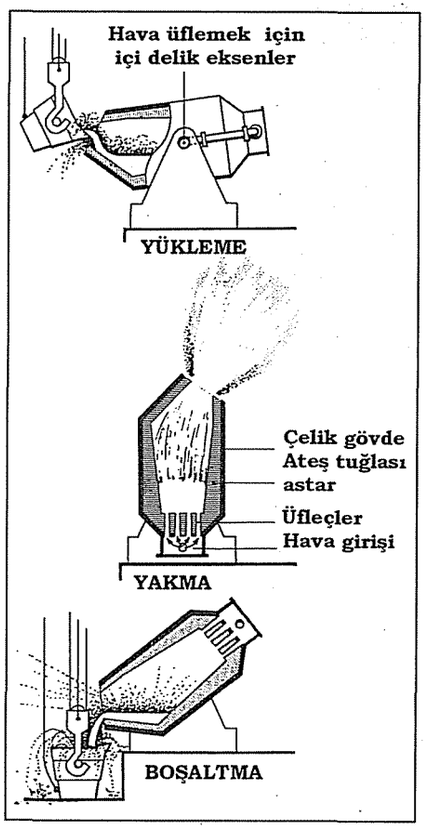
Şekil – 7.95: Henry Bessemer'in bir karikatürü.



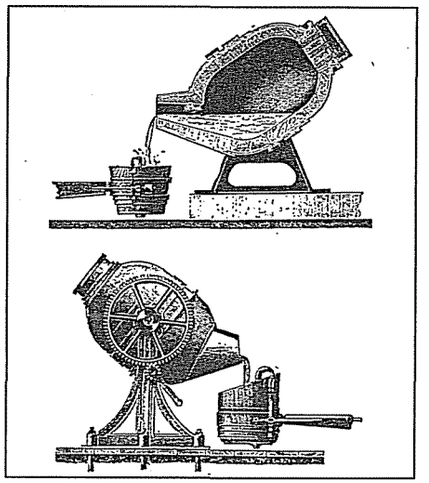


Şekil – 7.96: Bessemen konvertörünün ilk biçimleri. [Bernal. II. s. 102].

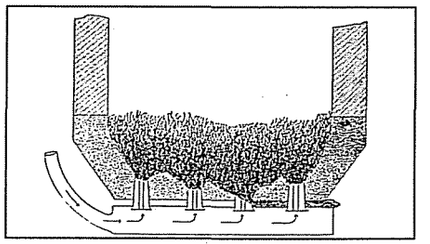
Daha önce kullanılan pahalı ve emek gerektiren yöntemler bir fırında yeniden ısıtma veya kapalı bir potada yeniden eritmeye dayanıyordu. Bessemer'in çözümü çok daha ucuz ve pratik olup yüksek fırından çıkan erimiş ham demir doğrudan Bessemer konvertörüne alınarak içinden sıcak hava üflenir ve işlem çok kısa sürer. Bessemer'in kendi buluşu olan konvertör yatay konuma getirilerek erimiş ham demir ile yüklenir, dikey duruma getirilerek altından sıcak hava üflenir ve işlem sonunda yeniden yatay duruma getirilerek oluşan erimiş çelik bir potaya aktarılır. (Şekil – 7.97, 7.98 ve 7.99).



Şekil – 7.97: Bessemer konvertörünün erimiş demir ile doldurulması, hava üflenmesi ve boşaltılması. [Cossons, s. 127].



Şekil – 7.98: Basit bir Bessemer konvertörünün boşaltılması. [Kirby, s. 294].



Şekil – 7.99: Hava üflemeden sonra iç astardaki aşınma.

Robert Forester Mushet (1811 – 1891)[11] (Şekil – 7.100) deneyleri sonucunda çelik üretiminde *spiegeleisen* (ayna demiri)[12] biçiminde az miktarda mangan katılması durumunda sıcakta daha iyi işlenebilir bir ürün elde edildiğini saptadı ise de bu buluş 1856'dan önce önem kazanmadı.

Şekil – 7.100: Robert Forester Mushet. (1811 – 1891).

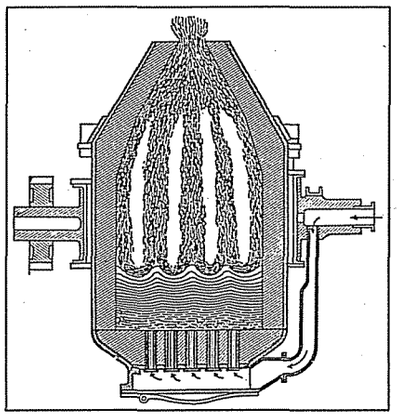
11 *Robert Forester Mushet (1811 – 1891):* Demir üreticisi David Mushet'in oğlu olarak Gloucestershire'deki Forest of Dean'de doğdu. Babası 1818/19'da Forest of Dean'de Darkhill Ironworks'ü kurdu. 1845'de buranın yönetimini üstlenınceye kadar babası ile birlikte çalıştı. 1848'de Darkhill eteklerinde yeni kurulan Forest Steel Works'e geçti ve burada on yıl içinde on bin deneme yaptı ve 1862'de Titanic Steelworks'e geçti. 1845'de Forest of Dean'den esinlenerek adına "Forrester" kelimesini ekledi. 1857'de dökme demir yerine haddeden çekilmiş demiryolu rayları üretti. Bu raylar ilk kez altı ayda bir rayların yenilenmek zorunda kalındığı Derby Midland istasyonunda denendi. Üzerinden günde 700 vagon geçmesine rağmen altı yıl sonra 1863'de raylar son derece iyi durumdaydı. Mushet'in en önemli buluşlaerından biri alaşımlı çeliklerdir. Kesme makinelerinde kullanılmak üzere sıcakta da sertliğini kaybetmeyen çelik talebi üzerine 1868'de % 8 oranında tungsten içeren çeliği üreterek alaşımlı çelikler dönemini başlattı. [Day ve McNeil, s. 510].

12 Prusya'da bulunan ve bir demir mangan çift karbonatı olan bir demir cevherinin küçük yüksek fırınlarda eritici olarak yalnız kireç kullanılarak indirgenmesi sonucu oluşan kütle kırıldığında parlak yüzeyler göstermesi nedeniyle Almanca *spiegeleisen = ayna demiri* olarak adlandırılmıştır. Bu alaşım % 86,25 demir, % 8,5 mangan ve % 5,25 karbon içerir.

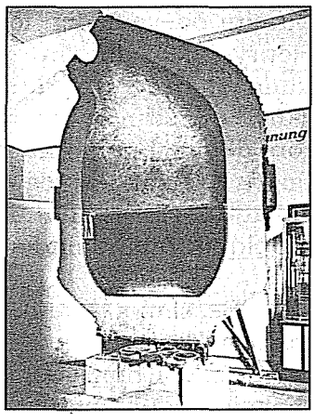
Mushet bu buluşu için patent başurusu yaptıysa da harcını ödeyemediği için patent hakkı 1859'da ortadan kalktı. Henry Bessemer'in yöntemi önemli miktarda karbonun kalması nedeniyle düşük kalitede çelik üretiyordu ve kendisi bunu düzeltmek için yaptığı uzun deneyler sonunda binlerce ton demir harcadıktan sonra hava verme işleminin sonuna doğru ortama spiegeleisen biçiminde mangan katıldığında sorunun çözüldüğünü saptadı. Bu konuda öncelik Mushet'e ait olduğundan kendisine 20 yıl süreyle her yıl 300 £ ödedi.

Bessemer konvertörünün içi asidik kil (SiO_2) ile kaplanmıştır. İşlem sırasında meydana gelen reaksiyonlar sonucunda ham demirin içinde bulunan silisyum silisyum dioksit (SiO_2), mangan mangan(II) oksit (MnO) ve karbon da karbon monoksit (CO) oluşturarak oksitlenir. Bu sırada bir miktar demir de demir(II) oksit (FeO) vererek oksitlenir. Silisyum dioksit ile mangan oksit ve demir oksit birleşerek dışık oluşturur.[13] İşlem sırasında fosfor da oksitlenmekle birlikte demirin içinde kalır ve fazlası demire kırılganlık verir. Bu nedenle % 1'den fazla fosfor içeren ham demirler Bessemer yöntemi ile işlenemez. Özellikle karbonun yanması ısı verici bir reaksiyon olduğundan konvertörün içindeki demirin sıcaklığı daha da artar. Hava verme süresi 15 dakika dolayında olup demirin içindeki karbonun miktarına göre ayarlanır. İşlem sonucunda karbonun oranı istenilen düzeye düşürülerek çelik elde edilir. Günümüzde çeliğin havanın azotunu absorplamasını engellemek için konvertöre oksijen – su buharı karışımı üfenir ve bir miktar demir mangan alaşımı olan ayna demiri (spiegeleisen) katılır. (Şekil – 7.101, 7.102 ve 7.103).

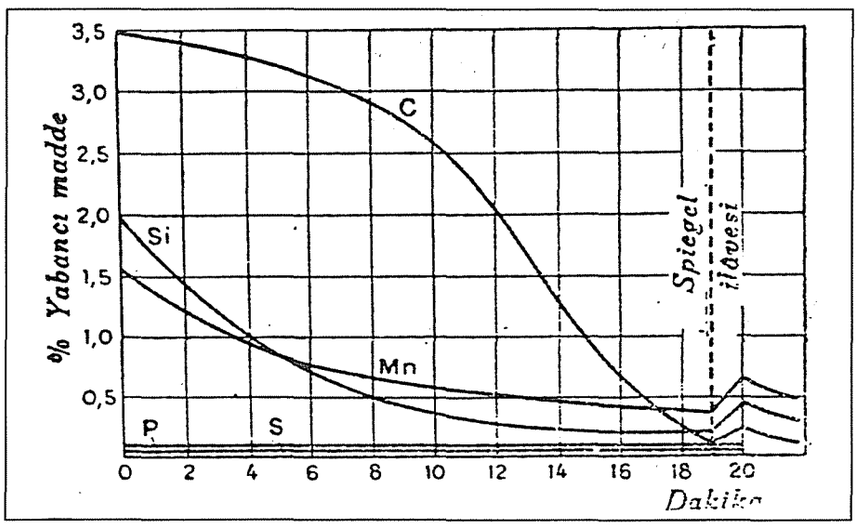
13 İşlem sırasındaki kimyasal reaksiyonlar aşağıdaki biçimde özetlenebilir. (1) yükselgenme ($2Fe + O_2 \rightarrow 2FeO$ / $2FeO + Si \rightarrow SiO_2 + 2Fe$ / $FeO + Mn \rightarrow MnO + Fe$ / $2C + O_2 \rightarrow 2CO$), (2) dışık oluşumu ($FeO + SiO_2 \rightarrow FeSiO_3$ / $MnO + SiO_2 \rightarrow MnSiO_3$), (3) karbonun indirgenmesi ($Si + 2CO \rightarrow SiO_2 + C$ / $Mn + CO \rightarrow MnO + C$), (4) karbonun yükseltgenmesi ($FeO + C \rightarrow Fe + CO$ / $FeO + Fe_3C \rightarrow 4Fe + CO$).



Şekil – 7.101: Bessemer konvertörüne hava üflenmesi.

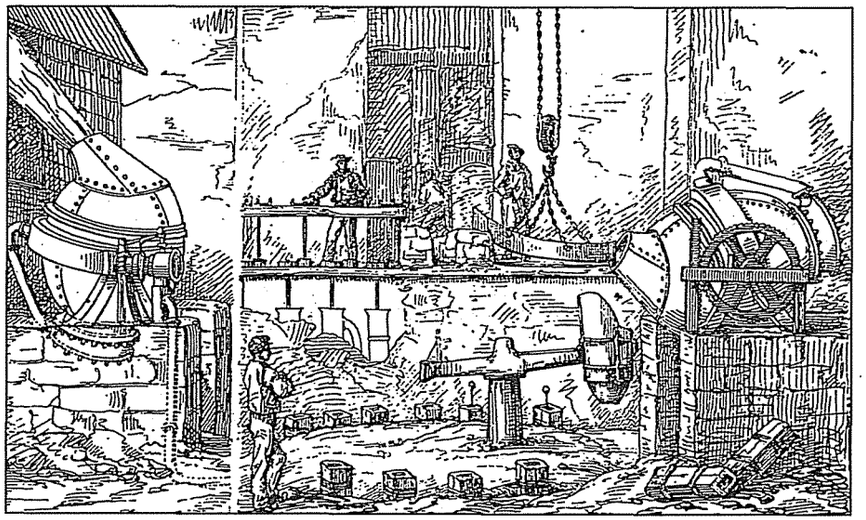


Şekil – 7.102: Beissemer konvertörünün kesiti. (1874). [Henseling, s. 167].

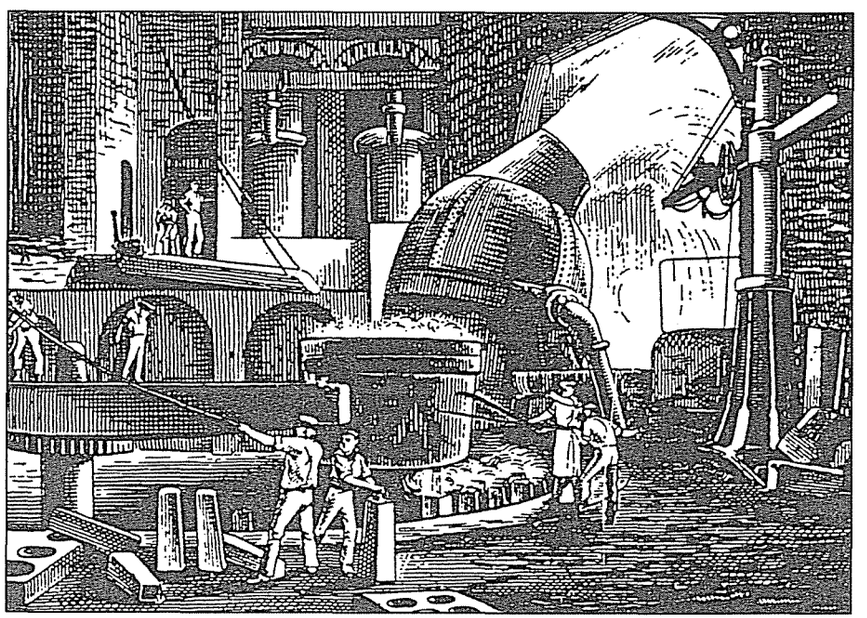


Şekil – 7.103: Asidik astarlı Bessemer yönteminde ham demirin içindeki yabancı maddelerin uzaklaşmasının zamana göre değişimi. [Terem, s. 335].

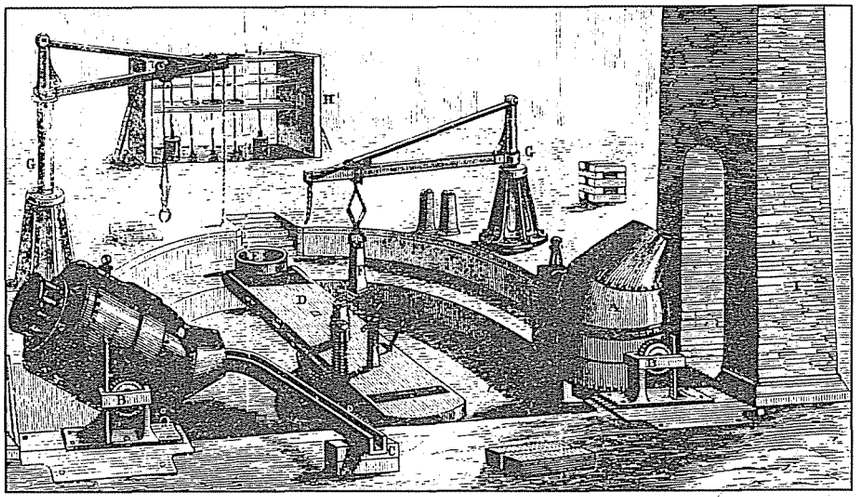
Bessemer yöntemi sonucunda ele geçen ürün çok kaliteli olmamakla birlikte çelik elde edilmesinde bir devrim yaratmıştır ve günümüzde de temel yöntem olarak kullanılmaktadır. (Şekil – 7.104, 7.105, 7.106 ve 7.107).



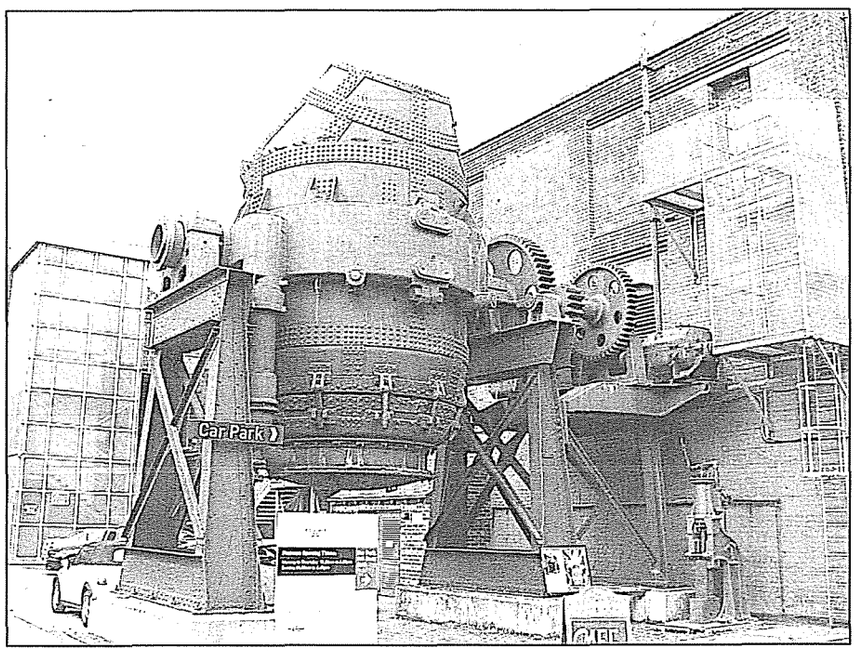
Şekil – 7.104: Hidrolik olarak çalışan bir Bessemer konvertör bataryası. Ortadaki çukurda oluşan çeliğin boşaltıldığı pota ve döküm kalıpları görülmektedir. [Bory, s. 149].



Şekil – 7.105: Bessemer konvertörünün çalışması. [Derry ve Williams, s. 483].



Şekil – 7.106: Bir Bessemer konvertör sistemi. [Feldman ve Ford. S. 155].



Şekil – 7.107: İngiltere'de Shffield'deki "Kelham Island Museum"da bulunan eski bir Bessemer konvertörü.

Thomas (Bazik Bessemer) yöntemi

Bessemer yönteminde astar asidik olduğundan işlem sırasında fosfor bu asidik astar ile birleşemez ve demirin içinde kalarak çeliğe kırılganlık verir. Bu nedenle % 1'den fazla fosfor içeren ham demir Bessemer yöntemi ile işlenemez. Bessemer ilk deneylerini 1855'de yapmış ve patentini 1856'da almıştır. Ancak, Bessemer'in 1858'de Sheffield'de kurduğu fabrikada uygulamaya geçildiğinde yöntem başarısızlığa uğramış ve bunun fosforun giderilememesinden kaynaklandığı anlaşılmıştır. İngiltere'deki demir cevherlerinde bol miktarda fosfor bulunduğundan İngiliz demiri yerine fosforsuz İsveç demirinin işlenmesi zorunda kalınmıştır.

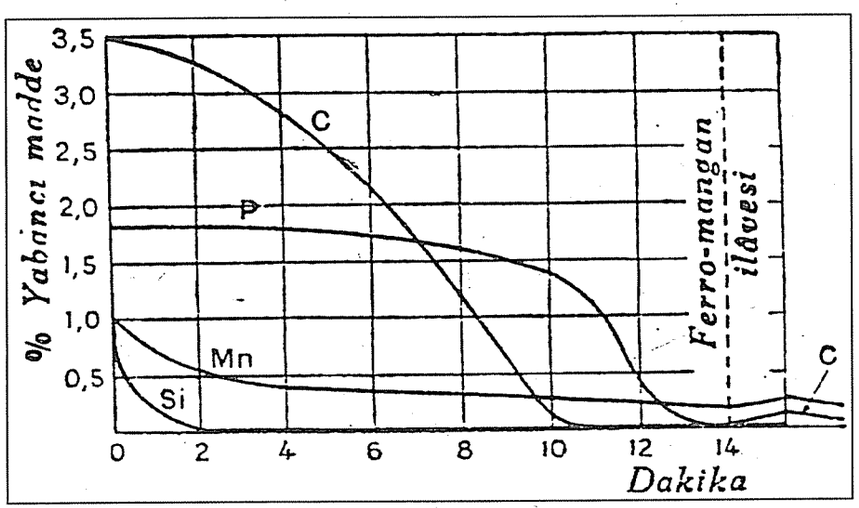
Çözüm 1879'da Sidney Gilchrist Thomas (1850 – 1885)[14] (Şekil – 7.108) tarafından bulunmuştur. Thomas 1879'da aldığı "Improvements in the Manufacture of Iron and Steel" [Demir ve Çelik Üretiminde Gelişmeler] başlıklı patentinde Bessemer konvertörünün dolomit (kalsiyum magnezyum karbonat, $CaCO_3.MgCO_3$) astar ile kaplanması yöntemini getirmiştir. Ham demirin içindeki fosfor astar ile birleşerek kalsiyum ve magnezyum fosfatları oluşturur ve bunlar da kimyasal gübre olarak kullanılır. (Şekil – 7.109).

Thomas'ın buluşundan sonra Bessemer yöntemi her türlü ham demiri işleyecek bir biçime gelmiş ve bazik astarlı Bessemer yöntemi *Thomas yöntemi* olarak adlandırılmıştır.

---

14 *Sidney Gilchrist Thomas (1850 – 1885):* Dulwich College'deki öğreniminin ardından 17 yaşındayken polis merkezine kâtip olarak girdi ve 12 yıl burada çalıştı. Önceleri kende kendine kimya öğrendi ve daha sonra Londra'daki Birkbeck College'de gece öğrenimine devam etti. Burada asidik astar kullanan Bessemer yönteminin yüksek oranda fosfor içeren demirler durumunda başarısız olduğunu öğrendi. Bu sıkıntıyı aşabilmek için bazik bir astar kullanılması gerektiğini düşündü ve yaptığı deneyler sonucunda dolomit'in ($CaCO_3.MgCO_3$) uygun olduğunu saptadı. 1879'da polis merkezindeki işinden ayrıldı ve buluşunu Monmouthshire'deki Blaenavon demir işletmesinde kimyager olarak çalışan yeğeni Percy Carlyle Gilchrist'e açarak bir pilot tesis kurulması için yardımcı olmasını istedi. Bu ikili işlemin patentini "Thomas – Gilchrist yöntemi" olarak aldılar. Bu yöntemle ilk çelik 4 Nisan 1879'da Middlesborough'daki Vaughan & Co. demir işletmesinde elde edildi ve ardından hızla Avrupaya yayıldı. [Day ve McNeil, s. 700].

Şekil – 7.108: Sidney Gilchrist Thomas (1850 – 1885).



Şekil – 7.109: Bazik astarlı Thomas yönteminde ham demirin içindeki yabancı maddelerin uzaklaşmasının zamana göre değişimi. [Terem, s. 336].

Siemens – Martin yöntemi

İngiltere'de yaşayan Alman asıllı Charles William Siemens (1823 – 1883)[15] (Şekil – 7.110) 1856'da cam üretimi için yanma gazları ile ısıtılan bir reverber fırın tasarladı. Burada hava ve yanıcı gazlar fırına girmeden önce ayrı ayrı içlerinde ısıtılmış tuğlalar bulunan odalardan geçtikten sonra birleşiyorlar ve yanma meydana geliyordu. Yanmadan çıkan sıcak gazlar ise fırının öbür ucunda bulunan soğumuş odaları ısıtıyordu ve olay sürekli tekrarlanıyordu. (Şekil – 7.111 ve 7.112). Bu fırın ilk kez 1864'de Fransa'da gazla ısıtılan bir fırın yapan ve çeliği eritecek sıcaklığa ulaşamayarak başarısız olan Pierre Émile Martin (1824 – 1915)[16] (Şekil – 7.113) tarafından çelik üretmek için kullanıldı ve bu nedenle *Siemens – Martin yöntemi* olarak adlandırıldı.

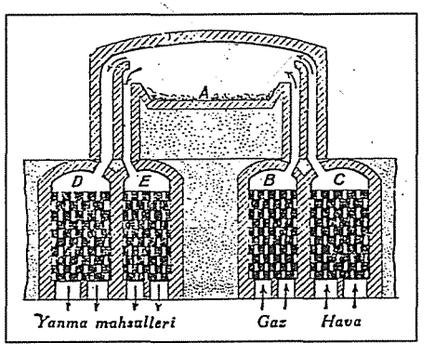
---

15 *Charles William Siemens (1823 – 1883):* Almanya'da doğdu, Lübeck ve Magdeburg'daki teknik okullarda öğrenim gördü. Göttingen'de bir süre doğa bilimleri öğrenimi gördükten sonra 19 yaşındayken kardeşi Werner Siemens'in geliştirdiği elektrolitik kaplamacılık konusundaki yöntemleri pazarlamak üzere İngiltere'ye gitti. 1844'de İngiltere'ye yerleşti ve daha sonra İngiliz uyruğuna geçti. Bir fırından çıkan atık ısının yeniden kullanılması konusunda bir yöntem ortaya koydu ve bunun patenti 1856'da kardeşi Frederick Siemens (1826 – 1904) tarafından alındı. Burada fırından çıkan gazlar içi tuğla döşeli arı kovanı biçimindeki bir kuleden geçirilerek tuğlalar ısıtılıyor ve daha sonra fırına verilen gaz ve hava buradan geçirilerek ön ısıtma yapılıyordu. Bu yöntem 1857'de Cowper tarafından yüksek fırınlara gönderilen havanın ön ısıtması için kullanıldı. Fransız Pierre Émile Martin ile birlikte Siemens – Martin fırınını geliştirdi. Bu çelik elde etme yöntemi aynı dönemde bulunmuş olan Henry Bessemer'in yöntemine göre yavaş olmakla birlikte daha kaliteli çelik üretiyordu. William Siemens kardeşi tarafından Berlin'de kurulmuş olan telgrafçılıkla ilgili "Siemens ve Halke Şirketi"nin İngiltere temsilciliğini yaptı ve Atlantik'i aşan telgraf kablosunun üretimini ve döşenmesini gerçekleştirdi. 1872'e "Telgraf Mühendisleri Derneği^nin kurucuları arasında yer aldı. [Day ve McNeil, s. 641 – 642].

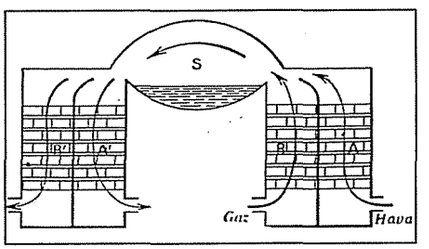
16 *Pierre Émile Martin (1824 – 1915]:* Babasının bir demir – çelik işletmesine sahip olması nedeniyle demir ve çelik üretiminin içinde olan Fransız mühendis Martin, 1856'da İngiliz mühendis Charles William Siemens'in bulduğu yakıt gazlarının önceden ısıtılmasına ve böylece daha yüksek sıcaklıkların elde edilebilmesine dayanan açık fırından yola çıkarak 1863'de çelik elde edilmesine ilişkin bir fırın geliştirdi. Pik demir ve hurda çelik kullanan bu yöntem 1867 Paris Sergisi'nde altın madalya kazandı. Bu sırada Siemens de çelik elde etmek için kendi yöntemini geliştirdi. "Siemens – Martin yöntemi" olarak anılan bu yöntem kısa sürede yaygınlaştı. [Day ve McNeil, s. 469 - 470].

Bu yöntemde bazik astarla kaplı fırına ham demir, hurda demir ve temiz demir filizi konularak doğrudan alev temasında olmaksızın yanma gazları ile eritilir ve sonucunda nitelikli çelik elde edilir. Bessemer yöntemi çok kısa sürede tamamlandığından işlem sırasında çeliğin bileşimini analiz ederek denetlemek mümkün değildir. Buna karşılık Siemens – Martin yönteminde işlem uzun sürdüğünden işlem sırasında çeliğin bileşimi denetlenerek gerekli katkılar yapılabilir. (Şekil – 7.114 ve 7.115). Simens – Martin fırınının başlangıçtaki kapasitesi 4 – 5 ton dolayındaydı. Günümüzde fırınların kapasitesi ortalama olarak 100 – 200 ton dolayında olmakla birlikte minimum 40 ton ve maksimum 550 ton arasında değişen fırınlar da vardır.

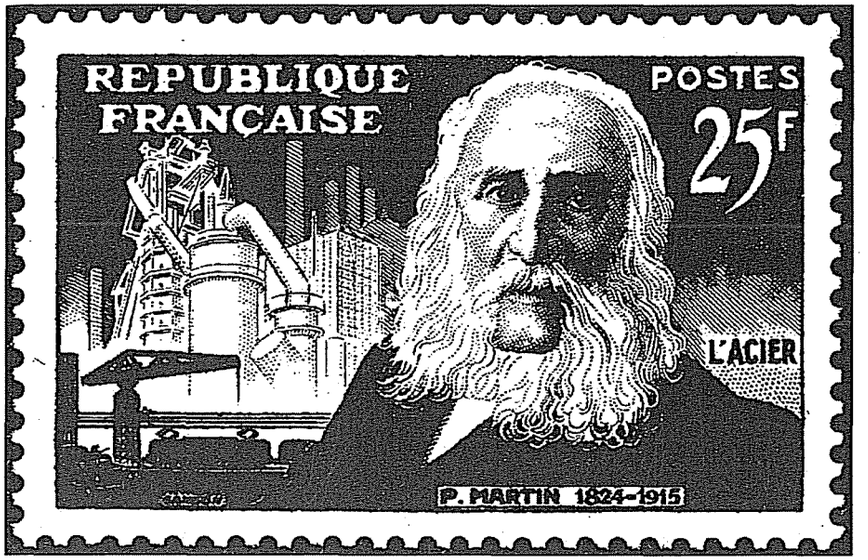
Şekil – 7.110: Charles William Siemens. (1823 – 1883).



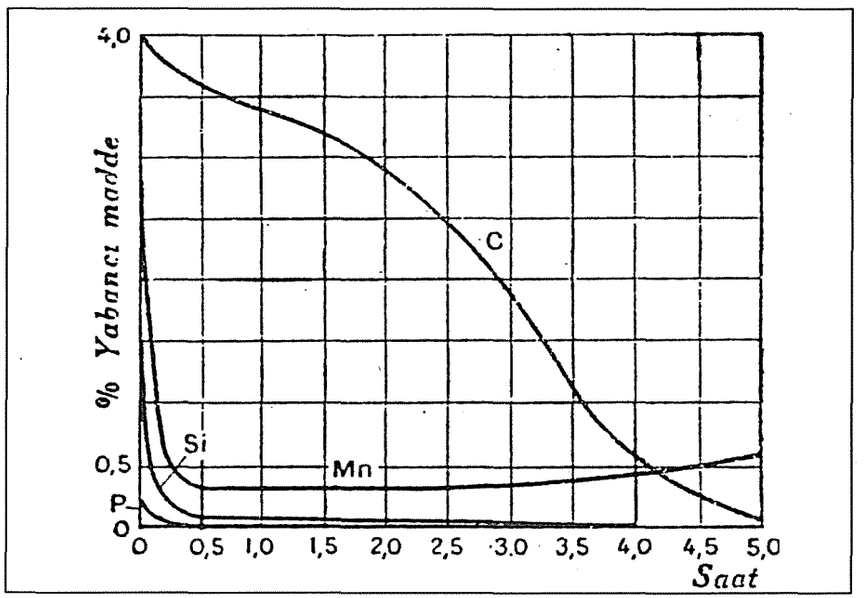
Şekil – 7.111: Siemens – Martin fırını ve ısıtıcılar. [Terem, s. 235].



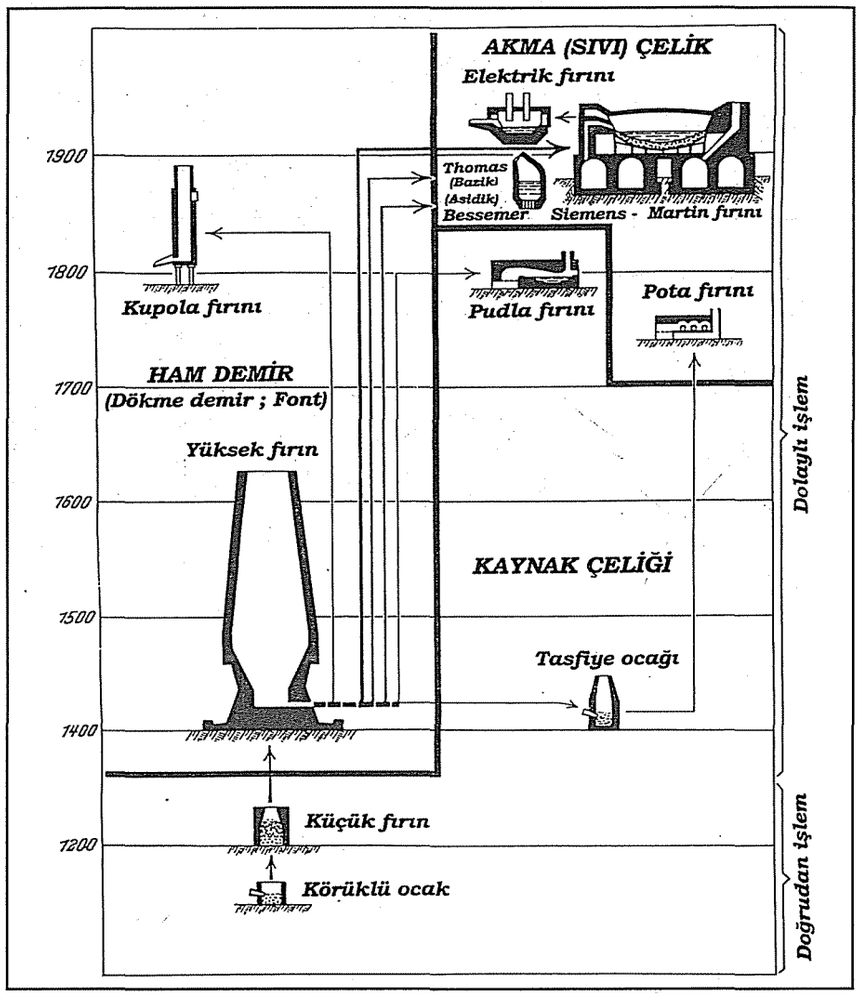
Şekil – 7.112: Siemens – Martin fırınında tersinir reküperasyon yöntemi ile hava ve gaz yakıtın ısıtılması. [Terem, s. 173].



Şekil – 7.113: Bir Fransız posta pulu üzerinde Pierre Émile Martin. (1824 – 1915).



Şekil – 7.114: Bazik astarlı Siemens Martin fırınında ham demirin içindeki yabancı maddelerin yanarak çıkması. [Terem, s. 329].

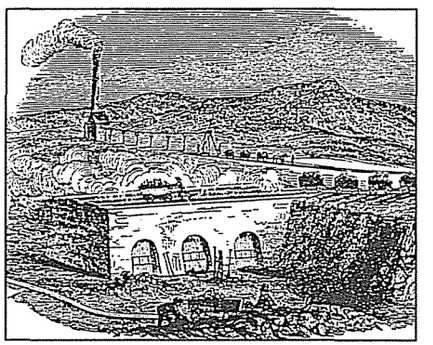


Şekil – 7.115: Demir ve çelik üretim teknolojisinin tarihsel gelişimi. [Krankenhagen ve Laube, s. 53].

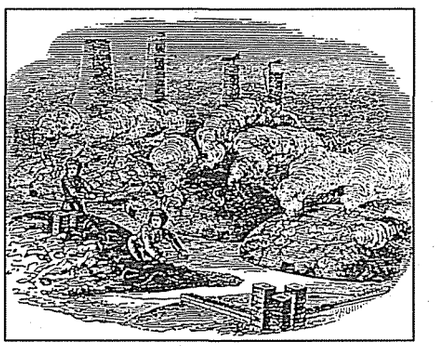
XIX. YÜZYILDA DEMİR VE ÇELİK ÜRETİMİ

Demir ve çelik üretim yöntemlerinde ortaya çıkan gelişmeler sonucunda bunlar bollaşarak ucuzladı. Bu durum Sanayi Devrimi'nin gelişimine büyük katkıda bulundu ve makine yapımı ile inşaatta ahşabın yerini demir ve çelik almaya başladı. Demir sanayiine en büyük talebi yaratan demiryolları oldu. Demir ve çelik bollaşıp ucuzlamasaydı

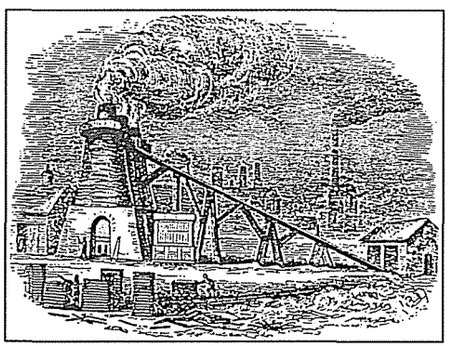
demiryollarının gelişimi söz konusu olamazdı. Demir ve çeliğin bollaşmasının başka bir sonucu bütünüyle demirden gemilerin ve bunun ardından zırhlı savaş gemilerinin inşa edilmeye başlanması oldu. Bu gelişmelerin sonucunda XVIII. yüzyılda demir ithal eden bir ülke olan İngiltere XIX. yüzyılda önemli bir demir ve çelik üreticisi ve ihracatçısı oldu. Bütün bu gelişmelerin sonucunda kullanımındaki yaygınlık nedeniyle XIX. yüzyıl *demir ve çelik yüzyılı* olarak adlandırıldı. XIX, yüzyılda demir ve çelik üretimine ilişkin çeşitli görünümler aşağıda verilmiştir. (Şekil – 7.116 – 7.130).



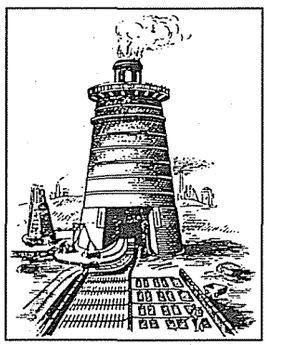
Şekil – 7.116: İngiltere'de Coalbrookdale'de demir cevherinin yüksek fırından önce fırınlarda kavrulması. [Cossons, s. 108].



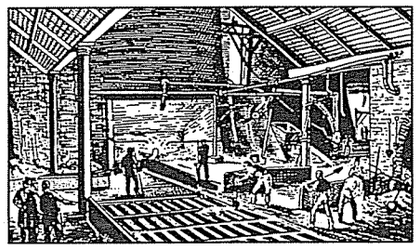
Şekil – 7.117: İngiltere'de West Midlands'daki Dudley'de demir cevherinin yığınlar halinde kavrulması. [Cossons, s. 108].



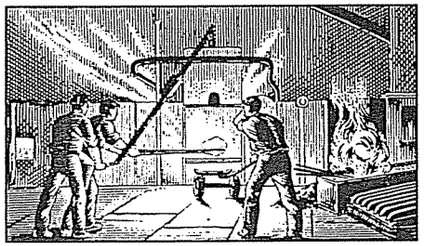
Şekil – 7.118: İngiltere'de Staffordshire'deki Henley'de yüksek fırınlar. [Cossons, s. 115].



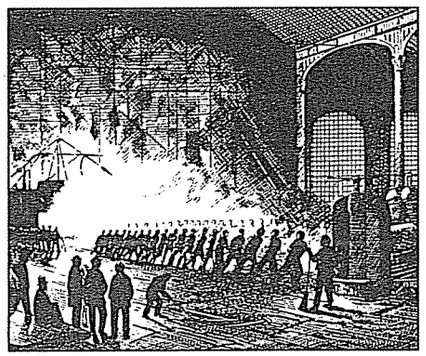
Şekil – 7.119: İngiliz yüksek fırını. Solda ön hava ısıtıcısı ve önde dökme demir kalıpları. [Derry ve Williams, s. 479].



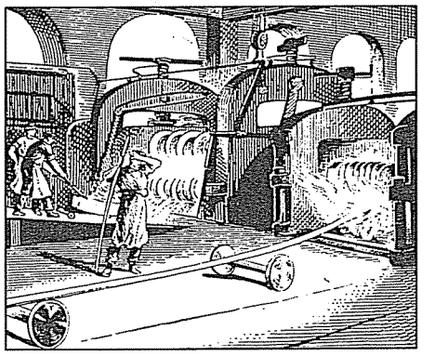
Şekil – 7.120: İngiltere'de 1850'lerde erimiş pik demirin yüksek fırından kalıplara dökülmesi. [Derry ve Williams, s.476]



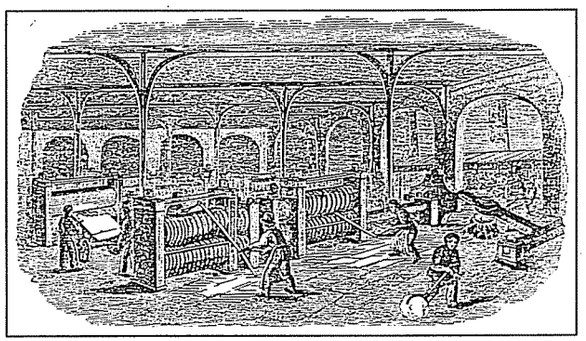
Şekil – 7.121: İngiltere'de 1850'lerde dökme demirin tavlanması. [Derry ve Williams, s.478]



Şekil – 7.122: İngiltere'de Scheffield'de 20 tonluk bir zırh levhasının haddeden çekilmesi. [Derry ve Williams, s.497]

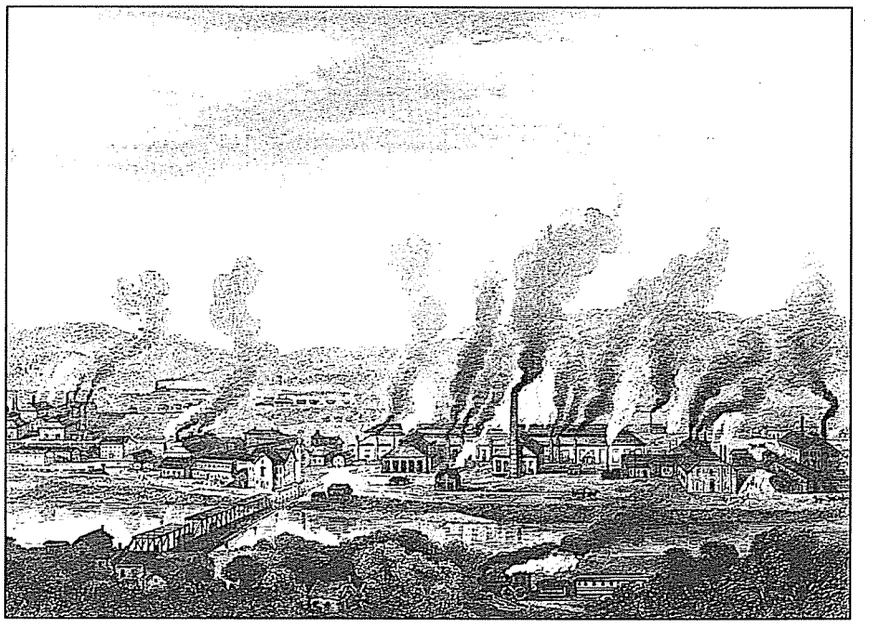


Şekil – 7.123: İngiltere'de çelik rayların haddeden çekilmesi. (1876). [Derry ve Williams, s.485].

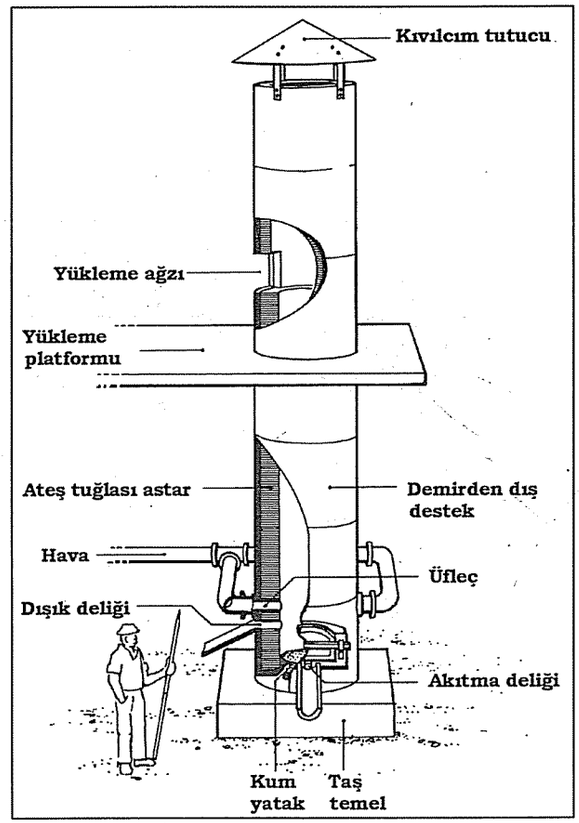


Şekil – 7.124: İngiltere'de Horse Hey'deki Coalbrookdale Company'nin haddehanesi. [Cossons, s. 125].

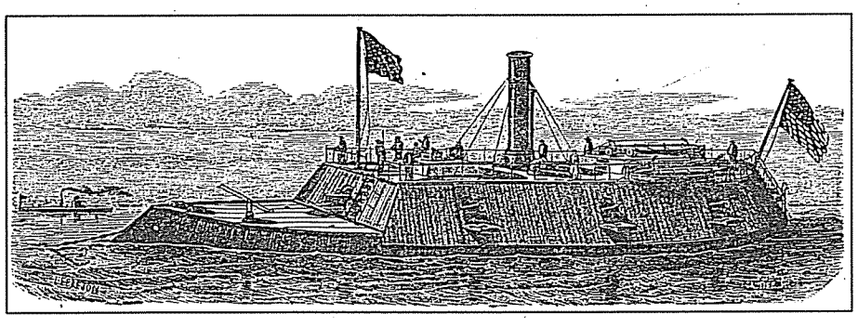
Şekil – 7.125: İngiltere'de demir ve çelik üretim merkezi olan Sheffield'in XIX. yüzyılın ilk yarısındaki görünümü.



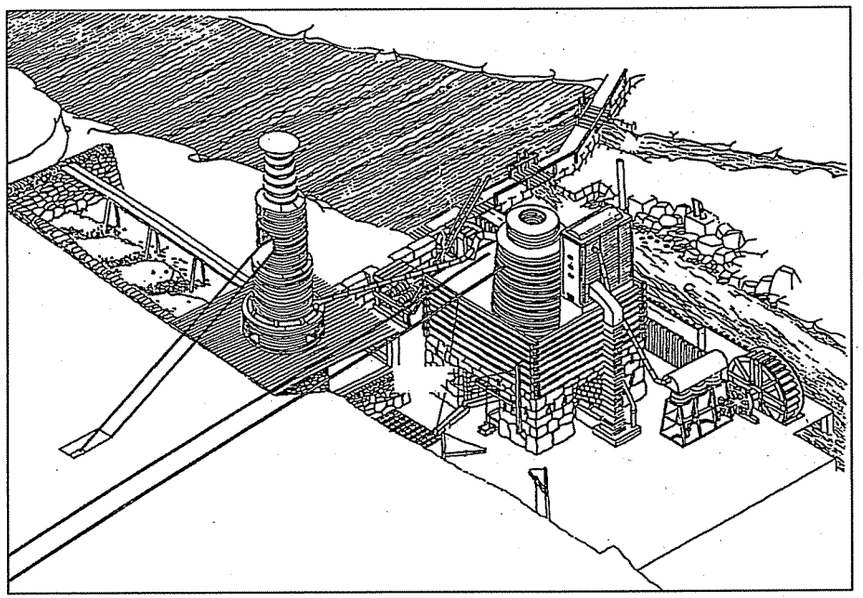
Şekil – 7.126: Amerika'da Philadelphia'da Johnstone'daki "Cambria Iron and Steel Works" demir ve çelik işletmesinin 1876'daki görünümü.



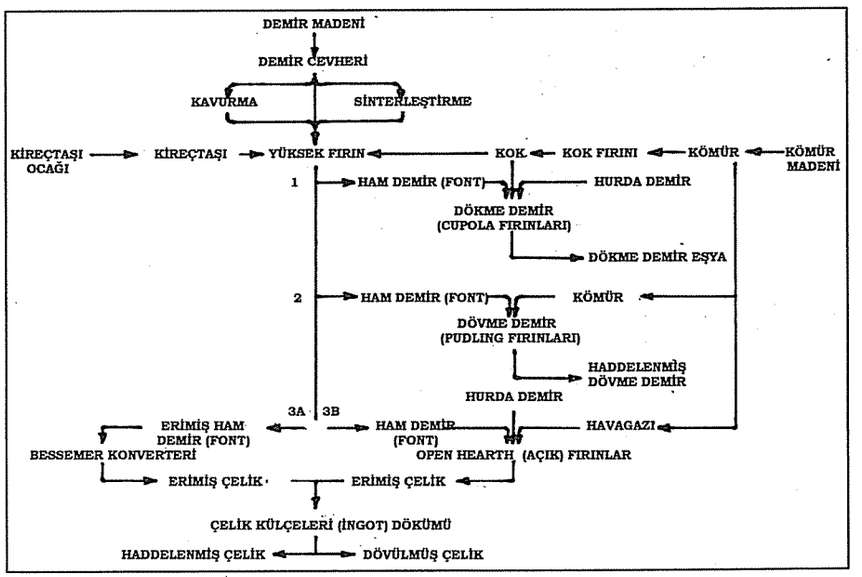
Şekil – 7.127: Özellikle döküm için metal eritmek amacıyla günümüzde de kullanılan *kupola* ocağı. [Cossons, s. 120].



Şekil – 7.128: Amerikan İç Savaşı sırasında bütünüyle demirden yapılmış ilk zırhlı savaş gemisi olan *Monitor*. [Bory, s. 197].

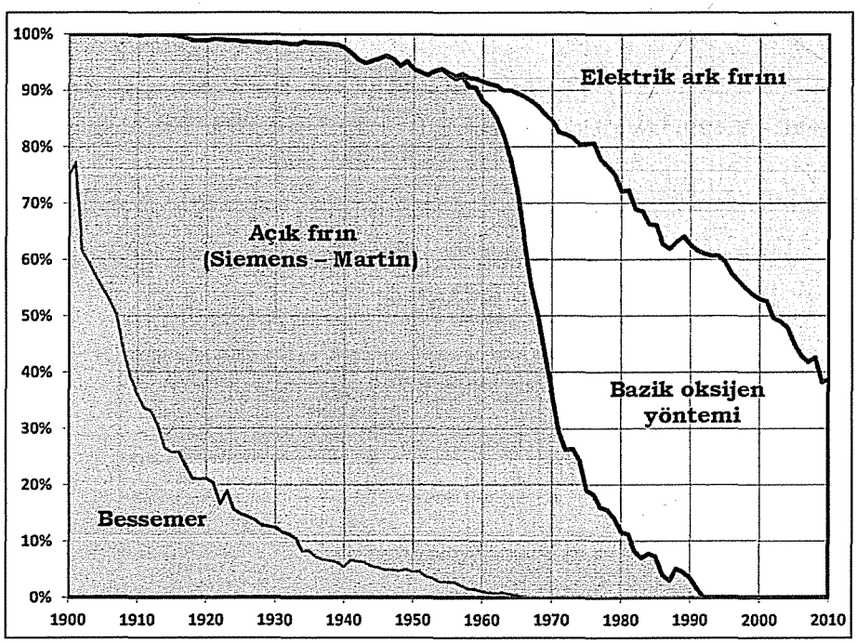


Şekil – 7.129: İsveç'teki Engelsberg demir işletmesininbir 1880'deki genel görünümü. [Selmeier, s. 62].

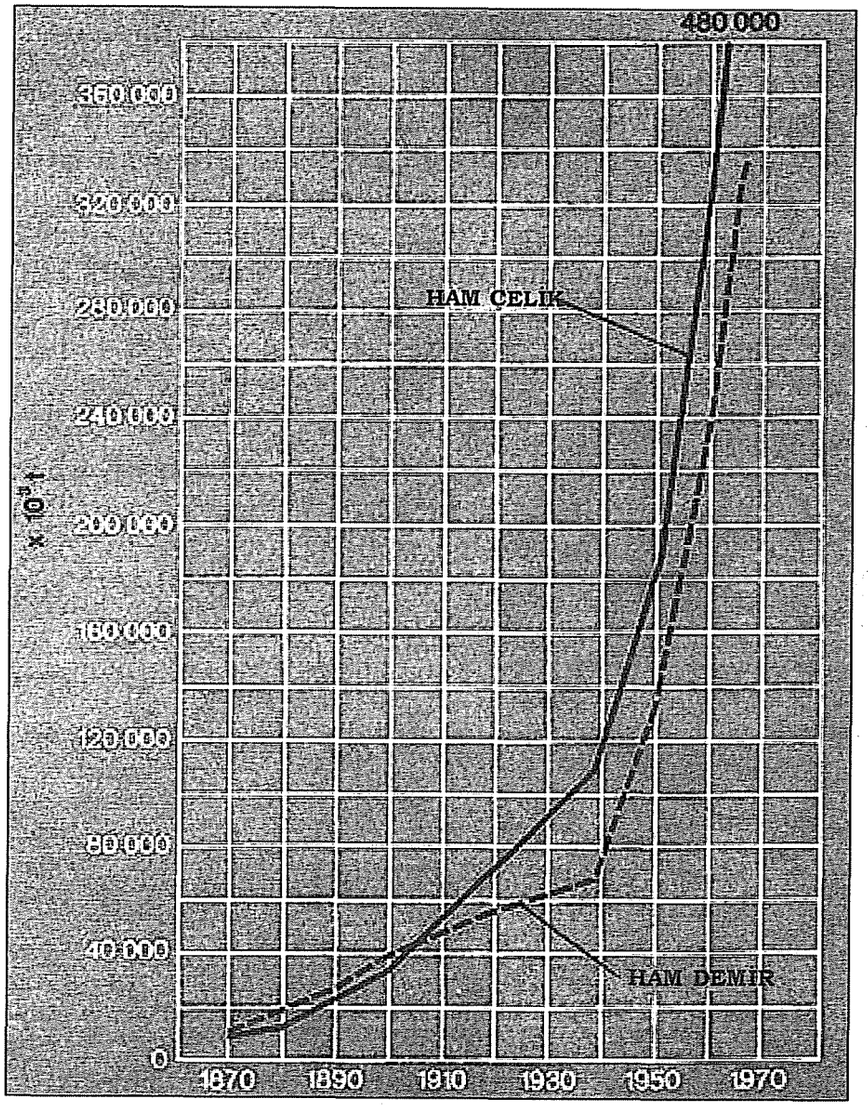


Şekil – 7.130: Erken dönemde demir ve çelik üretiminin başlıca aşamaları.

Çağdaş demir üretiminde, pelletleme veya sinterleştirme işleminden geçirilen demir cevheri, kırılmış kireç taşı ve kok fırınlarında koklaştırılmış taş kömürü ile birlikte sürekli olarak yüksek fırının tepesinden yüklenir. Yüksek fırının baca gazları ile kok fırınlarından çıkan gazlar fırına verilecek havanın önceden ısıtılması için kullanılır. Yüksek fırından çıkan erimiş pik demir ya doğrudan döküme gider ya da çelik üretiminde kullanılır. Bunun için sıvı durumundaki demir gereğinde içine hurda demir de katılarak amaca göre Siemens – Martin açık fırınlarında, bazik astarlı Bessemer konvertörlerinde veya elekrik fırınlarında işlenir. Ele geçen ürün genellikle ingot (külçe) biçimine getirilir veya sürekli döküme gönderilir. Her iki durumda da ele geçen kütükler haddehaneye gönderilip burada sıcak veya soğuk olarak haddelenerek istenilen profilde malzeme veya levhalar elde edilir. (Şekil – 7.131 ve 7.132).



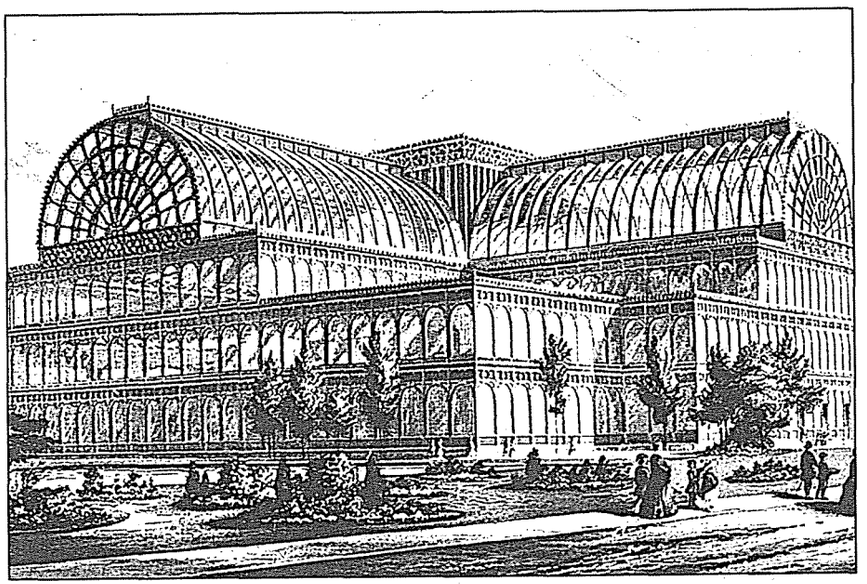
Şekil – 7.131: Amerika Birleşik Devetleri'nde 1900 – 2010 yılları arasında çelik elde etmek için kullanılan yöntemlerin toplam içindeki paylarının yükselişi ve düşüşü. Buradan Bessemer yönteminin 1900'de % 75'lik bir paya sahipken 1960'ların sonunda bütünüyle terk edildiği, Siemens – Martin yönteminin de 1990'lı yılların başında aynı sonu yaşadığı, bunlara karşılık elektrik ark fırınlarının payının giderek yükseldiği görülmektedir.



Şekil – 7.132: Dünya ham demir ve çelik üretiminin 1870 – 1970 dönemindeki artışı. [Heynert ve Willems, s. 689].

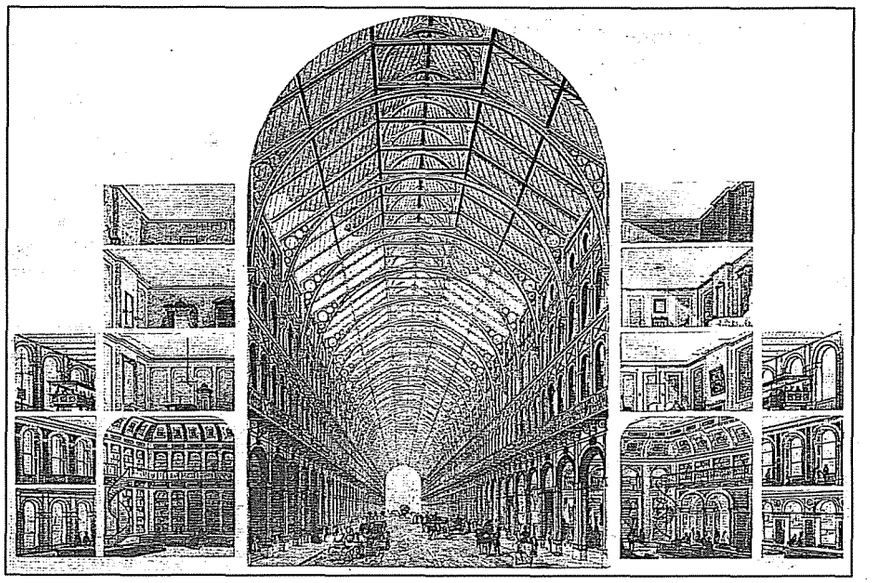
XIX. yüzyılda demir ve çeliğin önemini ve konumunu belirten iki anıtsal yapı inşa edildi. Bunlardan birincisi, bütünüyle demir ve camdan inşa edilen *Crystal Palace*'dır.

(Şekil – 7.133 ve 7.134). İngiliz sanayiinin ve demirin gücünü kanıtlamaya yönelik olan bu yapının tasarımı Sir Joseph Paxton (1803 – 1865) (Şekil – 7.135) tarafından yapılmış olup 1851'de Londra'da açılan uluslararası sanayi sergisi için Hyde Park'da kurulmuştur. Bu yapı günümüze kadar yalnız demirden yapılmış olan yapıların en büyüğü olup boyu 1608 ft (490,5 m) ve yüksekliği de 175 ft (53,4 m) dir. Portatif olan yapı sergiden sonra sökülerek 1852 – 1853'de Sydenham'da yeniden kurularak 1854'de açılmış ve daha sonra çıkan bir yangın sonucunda tahrip olmuştur.

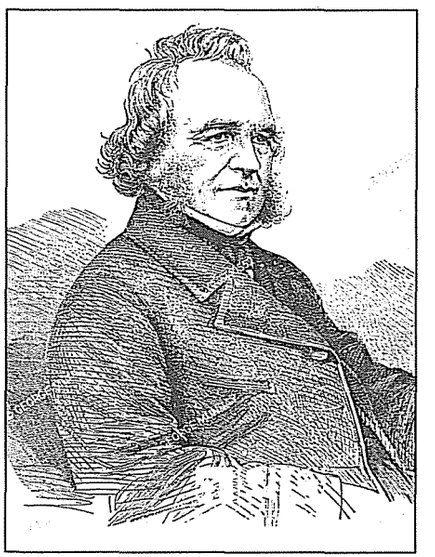


Şekil – 7.133: Bütünüyle demir, çelik ve camdan yapılmış olan Crystal Palace'ın genel görünümü.

Demir ve çeliğin gücünü göstermek için yapılan anıtsal nitelikteki ikinci yapı Fransız mühendis Gustave Eiffel (1832 – 1923) (Şekil – 7.136) tarafından yapılmış olup kendi adını taşıyan *Eiffel Kulesi*'dir. (Şekil – 7.137 ve 7.138). 1889'da Paris'de açılan Uluslararası sergi için demir ve çeliğin gücünü göstermek amacıyla serginin ardından sökülmek üzere yapılıp daha sonra kalıcı hale gelmiş ve Paris'in sembolü olmuştur.

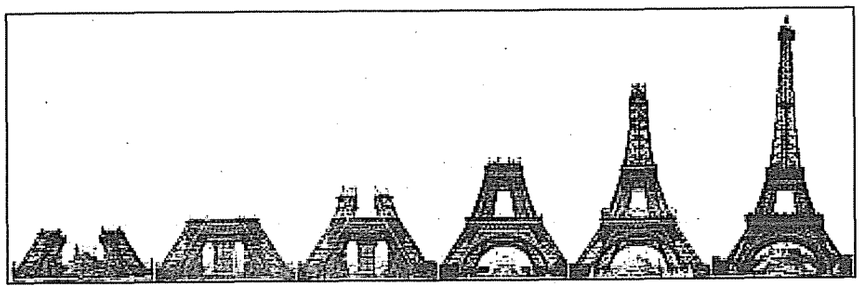


Şekil – 7.134: Crystal Palace'ın içten görünüşü.

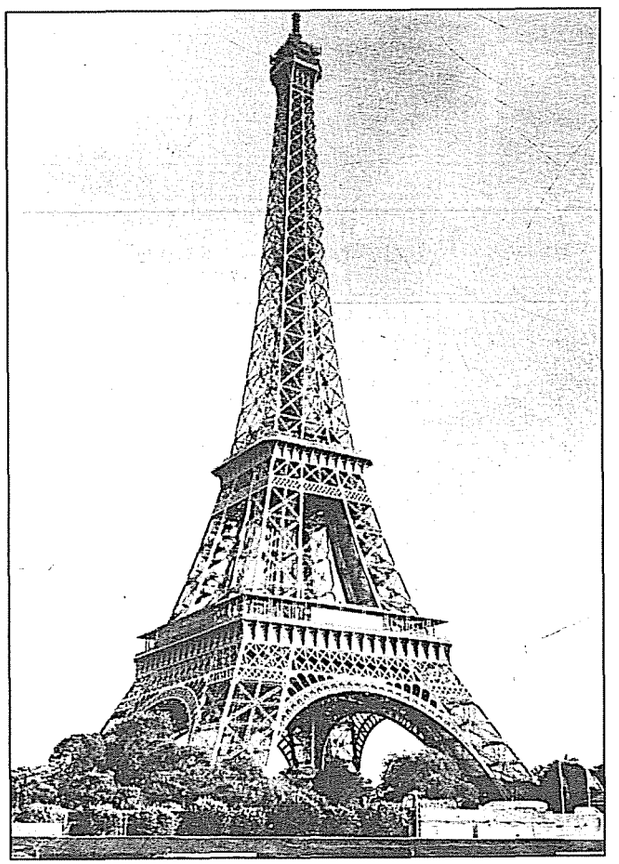


Şekil – 7.135: Joseph Paxton. (1803 – 1865).

Şekil – 7.136: Gustave Eiffel. (1832 – 1923).



Şekil – 7.137: Eiffel Kulesi'nin yapılış aşamalarının dizi fotoğrafı.



Şekil – 7.138: Eiffel Kulesi'nin görünümü.

OSMANLI DÖNEMİNDE DEMİR ÜRETİMİ

Osmanlı döneminde demir üretimi

Osmanlı döneminde çeşitli yerlerde demir madenciliği ve üretimi yapılmış olmakla birlikte Anadolu'da Bingöl'e bağlı Kiğı ve Rumeli'de de Bulgaristan'daki Samakov başlıca merkezler olarak ortaya çıkmaktadır. Madenler konusunda çok sayıda arşiv belgesi olmakla birlikte bu belgelerden üretim teknolojisi konusunda bilgi elde etmek çok zordur.

Samakov Sofya'nın 50 km güneydoğusunda bulunan bir kasabadır. Osmanlı döneminden önce XIV. yüzyılda bu bölgedeki zengin demir madeni yataklarının bilindiği ve Saksonya'dan getirilen madenciler eliyle demir üretiminin yapıldığı bilinmektedir. Osmanlı döneminde de bu üretim geliştirilerek sürdürülmüştür. H.1072 (1661 – 1662)'de Samakov'u ziyaret eden Evliya Çelebi (1611 – 1682) şehri tanımladıktan sonra buranın bir demircilik merkezi olduğunu belirterek buranın "kafesli demir fânusları, demirden zırhları, sofra iskemleleri, çeşitli kilitler, demirden kurt ve aslan kapanları", icabında un dahi öğüten "demirden kahve değirmenleri"nin ve demir çivilerinin çok ünlü olduğunu yazar. Evliya Çelebi Samakov'daki demirhaneler konusunda aşağıdaki bilgileri verir.[17]

> "Etrafta yüz adet demir işleyen yer vardır. Burada Samakov denilen ve ateş yakan körüğü on adam çekemez. Su değirmeni vasıtasiyle körüğü çekerek ateş yakılır. Fil gövdesi kadar demir örsler üzerinde Yemen akiki gibi kırmızı demirleri ateşten çıkaran usta demirciler, camus kelleleri gibi çekiçleriyle ve yine sanatlı su dolapları vasıtasiyle kıpkırmızı demire vurarak yeri göğü titretirler. Her vurdukça demir uzayıp çubuk olur. Nice seyyahlar bu işi görüp parmakları ağzında kalır. Bu işi ancak görerek takdir etmek mümkün olur. Yoksa böyle yazmakla olmaz. Her sene buradan Selânik yolu ile Osmanlı ülkesine sekizbin araba demir gider."

Üretilen demirin Selânik yerine daha yakın olan Varna limanı üzeriden İstanbul'a gönderilmesi daha akla yakındır.

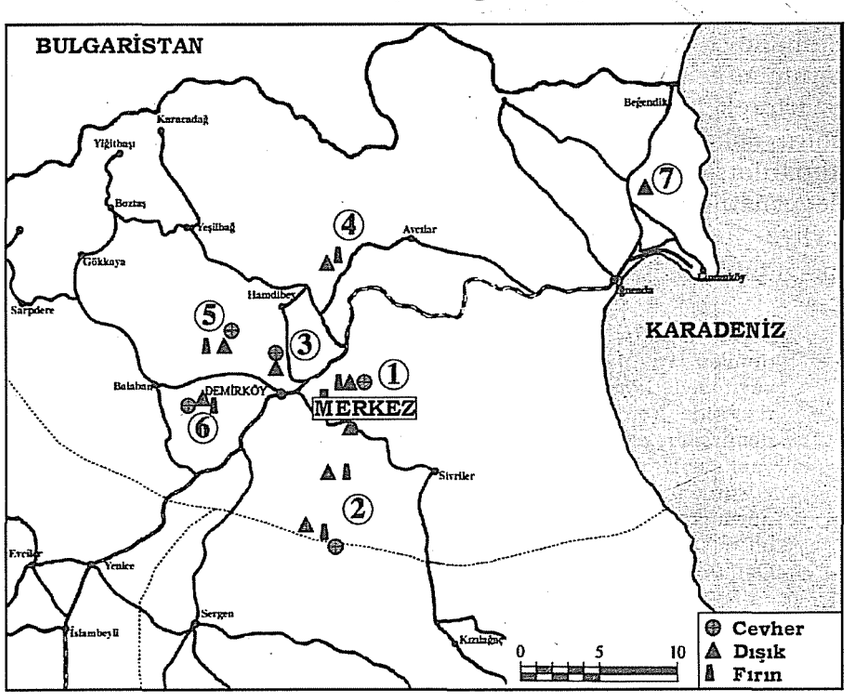
---

17 Evliya Çelebi (Mehmed Zıllîoğlu), *Evliya Çelebi Seyâhatnâmesi*, Dokuzuncu kitap, Türkçeleştiren Zuhuri Danışman, İstanbul 1970, s. 237 – 238.

Demirköy (Samakovcuk) Demirhanesi

Günümüzde Kırklareli ili sınırları içinde bulunan Demirköy (eski adıyla Samakovcuk) ilçesi sınırları içinde bulunan maden galerisi ve dışık artıkları Eskiçağ'da İ.Ö. V. yüzyıl ile İ.S. IV. yüzyıllar arasında burada bakır madenciliğinin yapıldığını göstermektedir.

Demirköy yakınında Osmanlı döneminden kalma bir demirhanenin kalıntıları bulunmakta olup burası 2001 yılında başlayan kazılar sonucunda ortaya çıkartılmıştır. Bölgede yapılan araştırmalar sonucunda bu merkez üretim tesisinin dışında geniş bir bölge içinde daha küçük fırınların kalıntılarının bulunduğu saptanmıştır. (Şekil – 7.139). Kalan dışıkların incelenmesin-den buralarda demirin yanında bir miktar bakırın da elde edilmiş olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil – 7.139: Demirköy bölgesindeki demir cevheri yatakları ile fırın ve dışık kalıntılarının bulundukları yerler. [Danışman (2007), s. 105].

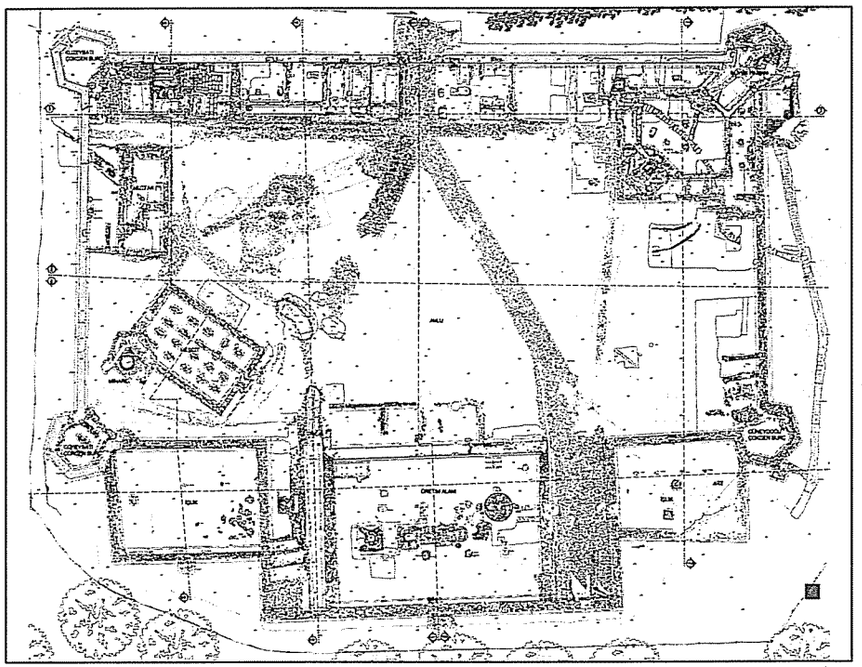
Demirköy Demirhanesi için elimizde bulunan en eski tarihli belge 29 Şevval 1107 (1 Haziran 1696) tarihlidir. Bu belgede "Vize Sancağı'nda Samakovcuk nam mahalde yuvarlak işleddirilmek üzre kârhane yapdırılmak ve levazımatı görülmek üzre olub lâkin kârhane itmam olunca eskiden olan ocaklarda maden-i mezbureden beşyüz kantar maden kal" edilerek acilen atlarla İneada'ya taşınıp buradan deniz yoluyla İstanbul'a gönderilmesi istenilmektedir.[18] Bu yazıdan kazılarda ortaya çıkarılan tesisin XVII. yüzyılın son yıllarında inşa edildiği kesin olmakla birlikte "eskiden olan ocaklar"dan söz edilmesi burada daha önce de daha küçük çapta da olsa üretim yapıldığını göstermektedir.[19] Demirhanede 1821'de kapsamlı yenileme ve genişletme çalışmaları yapılmıştır.

Demirköy ilçe merkezinin 4 km güney doğusunda bulunan merkez dökümhane aralarında 7 m kot farkı bulunan iki terastan oluşmuştur. (Şekil – 7.140 ve 7.141). Uzun kenarı 100 m olan bir dikdörtgen biçimindeki üst teras dört köşesinde birer burç bulunan kalın bir taş duvarla çevrilmiştir ve ana giriş kapısı kuzey taraftadır. Bu alanda çalışanların ve koruyucu askerlerin yatakhaneleri ile küçük işliklerin bulunduğu söylenebilir. Bu alanda bir mescit bulunmakta ve su çarkını çeviren su kanalı bu alanın altındaki bir galeriden geçmektedir. Güneyde bulunan ve ana terastan 7 m daha düşük olan ikinci terasta körükleri çalıştıran bir su çarkı ile iki tane yüksek fırın vardır. (Şekil – 7.142). Demir elde etmek için magnetit (Fe_3O_4) filizleri işlenmiştir. Alanda yayılmış olan diğer tek fırınlar dere kenarlarına kurulmuş olup çapları 80 – 85 cm ve yükseklikleri de 140 – 150 cm dolayında silindirik yapılardır.

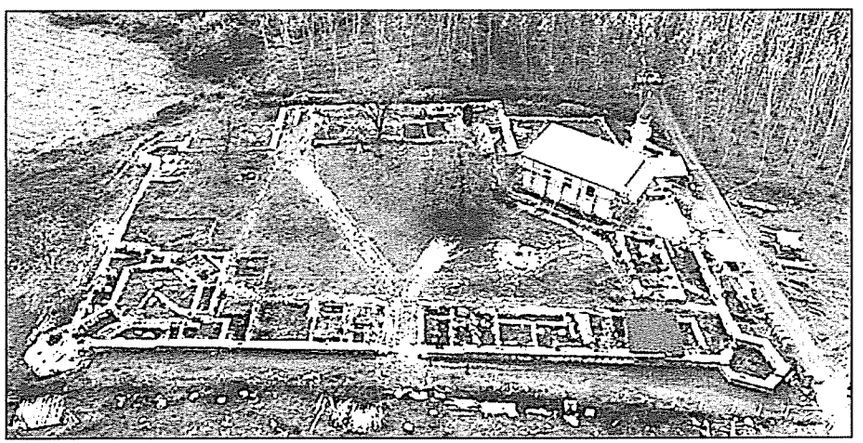
---

18 Ahmet Refik [Altınay], *Osmanlı Devrinde Türkiye Madenleri (867 – 1200)*, İstanbul 1931, s. 48.

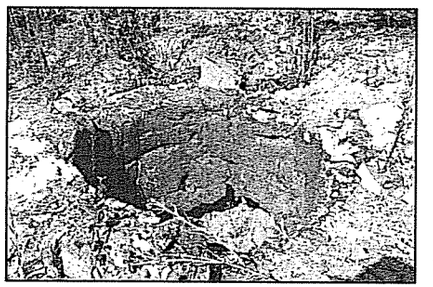
19 Buraya "Fatih Dökümhanesi" denilmesinin bilimsel bir temeli yoktur. Bu isim sırf kazı için İstanbul'un 550. fetih yıldönümünü kutlama fonundan kaynak sağlamak amacıyla ortaya atılmış ve bu kuruluşun üzerine yapışmıştır. Buranın kuruluşu en fazla XVII. yüzyıl ortalarına kadar geriye götürülebilir.



Şekil – 7.140: Demirköy dökümhanesinin genel planı.

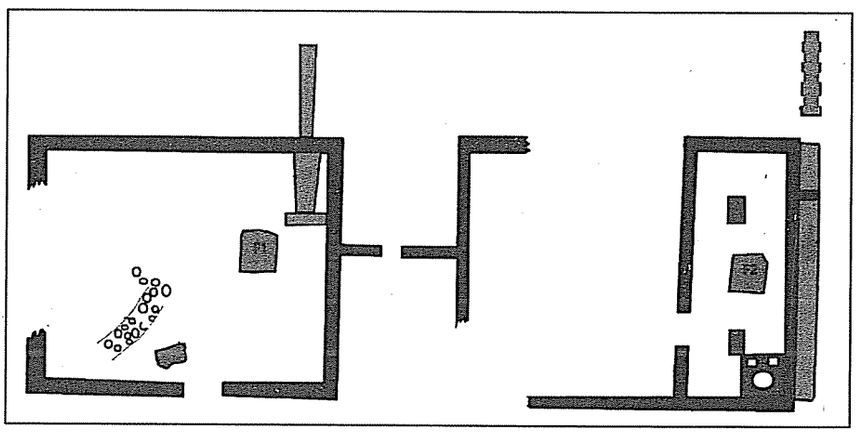


Şekil – 7.141: Demirköy Dökümhanesi kazı alanının kuzeydoğudan genel görünümü. Yalnız minaresinin bir bölümü günümüze ulaşmış olan mescit Vakıflar Genel Müdürlüğü tarafından yeniden inşa edilmiştir.



Şekil – 7.142: Dökümhanede tahrip olmuş fırının kalıntısı. [Danışman (2012), s. 322].

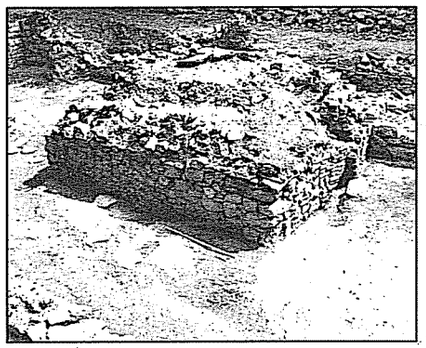
Merkez dökümhanenin 400 m batısında 20x50 m boyutunda küçük bir ikinci işletme vardır. (Şekil – 7.143). Bu alanda iki su çarkı kanalı, üç fırın ve çekiç düzeneklerinin kalıntıları mevcuttur. Burada tabanı 3x4 m ve yüksekliği 80 – 90 cm olan bir açık fırının kalıntısı da vardır. Bu fırının sementasyon amacıyla kullanıldığı düşünülebilir. (Şekil – 7.144). Mevcut fırınlardan biri bakır elde etmek için kullanılmıştır. (Şekil – 7.145).



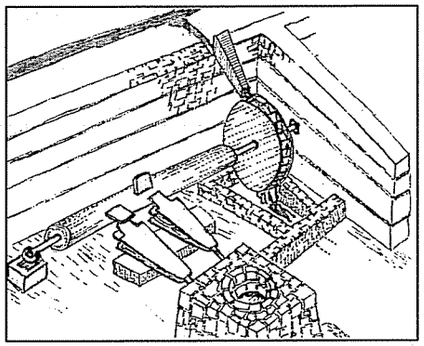
Şekil – 7.143: Küçük dökümhanenin genel planı. [Danışman (2007), s. 105].

XIX. yüzyılın ortalarına doğru İstanbul'da Zeytinburnu'nda bir yüksek fırın ile haddehane içeren bir demir fabrikası kurulmuş ve Büyükada ile Heybeliada'dan çıkartılan hematit (Fe_2O_3) cevherleri işlenmiştir. Burada 1844'de demir

top dökülmüş ve Eser-i hadîd adı verilen demirden bir buharlı gemi yapılarak 18 Kasım 1848'de denize indirilmiştir.



Şekil – 7.144: Küçük dökümhanedeki dikdörtgen fırın. [Danışman (2012), s. 324].



Şekil – 7.145: Bakır elde edilmesinde kullanılmış olan fırının tasarımı. [Danışman (2007), s. 106].

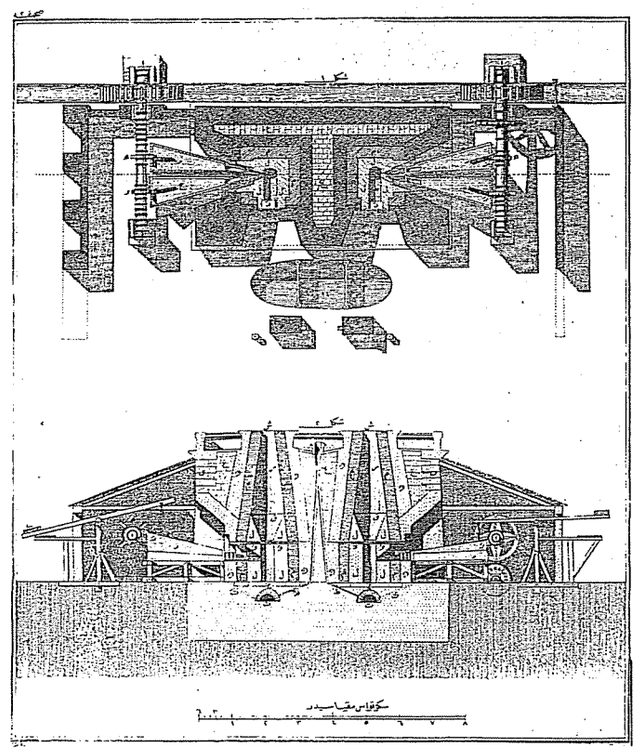
Yüksek fırının Türkiye'de tanıtılması

Mühendishâne-i Berrrî-i Hümâyun [İmparatorluk Kara Mühendislik Okulu]'nun Başhocası İshak Efendi tarafından 1830'lu yılların başında top dökümüne ilişkin olarak yayınlanan *Usûlü's-Siyâga* adlı kitapta[20] Türkiye'de ilk kez demir ve çelik üretiminden söz edildiği gibi yüksek fırınlara ilişkin Fransızca kaynaklardan alınmış iki tane de levha verilmiştir. (Şekil – 7.146). Türkiye'de yayınlanan ilk kimya kitabı Kimyager Mehmed Emin Derviş Paşa'nın (1817 – 1879)[21] (Şekil – 7.147) 1848'de *Usûl-i Kimya* adı altında basılan

20 İshak Efendi (Başhoca), *Usûlü's-Siyâga*, [Dârü't-Tıbâatü'l-Âmire], İstanbul [1830 – 1833 arası], 167 s. + 60 levha.

21 *Mehmed Emin Derviş Paşa (1817 – 1879):* 1829'da girdiği Mühendishâ-ne-i Berrî-i Hümayûn'dan mezun olunca yeni açılmış olan Mekteb-i Fünûn-ı Harbiye'ye "istidatlı muallim yetiştirmek" için 1834 veya 1835'de Avrupa'ya gönderilen öğrenci grubu içinde yer almıştır. Birkaç yıl İngiltere'de ve üç yıl Paris'de kalmış ve burada École des Mines'e [Maden Mektebi] devam etmiştir. Dönüşünde bir süre Keban ve Ergani madenlerinde başmühendis olarak görev yaptıktan sonra Mekteb-i Fünûn-ı Harbiye'ye fizik ve kimya muallimi olarak tayin edilmiştir. Daha sonra bu okulun müdürlüğüne getirilmiş, giderek rütbesi müşirliğe kadar yükselmiş ve sivil veya askeri çeşitli görevlerde bulunmuştur. Derviş Paşa bir süre Mekteb-i Tıbbiye-i Şâhâne'de kimya dersleri ve 13 Ocak 1863'de halka açık konferanslarla açılan birinci Darülfünun'da fizik ve kimya dersleri vermiştir.

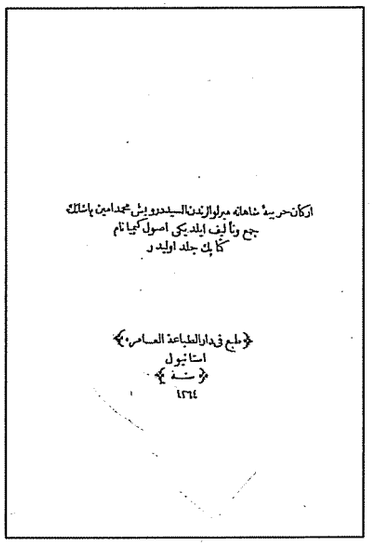
ve döneminin kimyasını oldukça iyi bir biçimde yansıtan anorganik kimya kitabıdır.[22] (Şekil – 7.148 ve 7.149). Kitapta demir elementi ve bileşiklerine oldukça geniş yer verildiği gibi "Demir istihsali" başlıklı bölümde (s. 264 – 270) XIX. yüzyılın ilk yarısındaki demir üretim teknolojisine yer verilmiş, kitabın arkasında levhalar biçiminde verilen şekillerin arasında bulunan bir yüksek fırın kesiti (Levha 4/Şekil 30) üzerinden demir elde edilmesi ayrıntılı olarak anlatılmıştır. (Şekil – 7.150).



Şekil – 7.146: Yüksek fırın ve su çarkı ile çalışan körükler. [*Usûlü's-Siyâga*, Levha 2].

22 Mehmed Emin Derviş, *Usûl-i Kimya*, Dâr-üt Tıbâatü'l-Âmire, İstanbul H. 1264 [1848], 2 + 386 + 5 s. + 4 levha.

Şekil – 7.147: Kimyager Mehmed Emin Derviş Paşa. (1817 – 1879).



ارکان حربیهٔ شاهانه میرلوالرندن السید درویش محمد امین پاشانك
جمع وتألیف ایلدیکی اصول کیمیا نام
کتابك جلد اولیدر

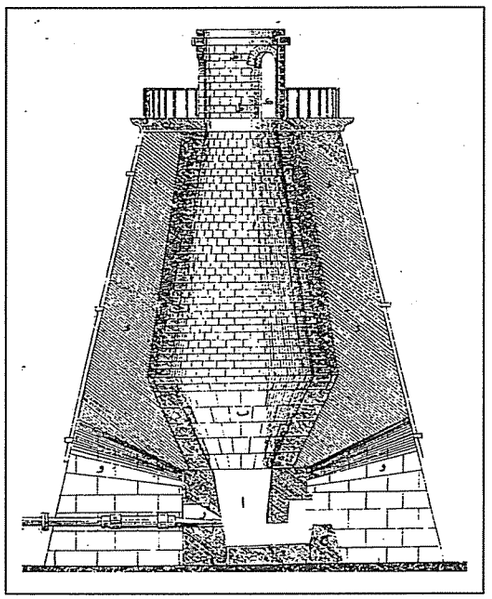
﴿طبع فی دار الطباعة العامرة﴾
استانبول
﴿سنة﴾
١٢٦٤

Şekil – 7.148: *Usûl-i Kimya* adlı kitabın kapak sayfası

﴿بسم الله الرحمن الرحیم﴾

حمد خالص وصاف * وسپاس خاص لایضاف * بر ذات واجب
الوجود احدیت اتصافه نسبت مختصه ایله مخصوص ومضاف *
قلنور که هر بر جزؤ فرد عالم (وان من شیء الا یسبح بحمده)
مبحثنده صفات ثبوتیه سیله ذاتنك وصافی * ونعوت ذاتیه سیله
شارح اوصافی * اولمقده نیجه کتاب حکمت صحاف اولوب هر
فصلنك حل ووصلی منتج نتیجهٔ (الیس الله بکاف) ایسه ده اصحاب
شرع ونقول وارباب میزان واصول (لا مؤثر فی الاشیاء الا الله)
نشیده سی ترکیبیله تصفیهٔ جواهر عقول ضمننده تنسیقات قدرت
ارادیه * وتأثیرات قوت آلهیه سی حرارت مشتعله یی بر دسلام ایله
تبرید * وعناصر متفرقه ومتشتته دن عین حیات تولید بیوردیغنی
(کونی برداوسلاما علی ابراهیم) و (یحیی العظام وهی رمیم) مثللو
نیجه نص عدید (وجعل لکم من الشجر الاخضر نارا) مفاد
حقیقت آراسنده انواع برهان سدید ایله بیان وتأیید ایلمشلردر *
ودرر درود تسلیمات نابناك * اول جوهر فرد کان لولاك * ونور مشکوة

Şekil – 7.149: *Usûl-i Kimya* adlı kitabın başlangıç sayfası.



Şekil – 7.150: *Usûl-i Kimya*'da yüksek fırın. [Levha 4/ Şekil 30].

CUMHURİYET DÖNEMİNDE DEMİR ÜRETİMİ

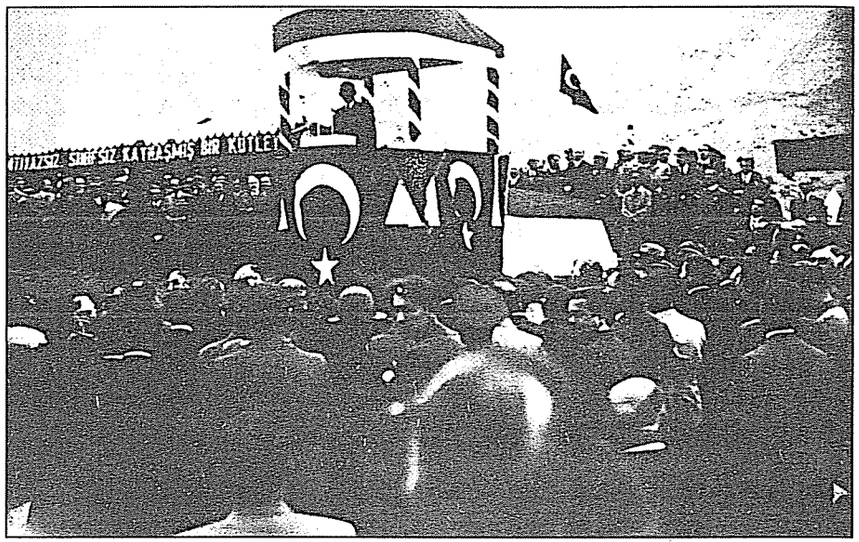
Cumhuriyet'in ardından demir ve çelik sanayiinin kurulması gündeme gelmiş, 1920'li yılların ortalarından itibaren yabancı uzmanlar getirtilerek bir yandan bu konudaki görüşleri alınmış ve öte yandan da demir yataklarının araştırılması istenilmiştir. Bunların yanında 17 Mart 1926'da 786 sayılı "Demir Sanayiinin tesisine dair Kanun" çıkartılmıştır. Bütün bu gelişmelerin sonucunda "Türkiye Demir ve Çelik Fabrikaları Müessesesi" kurulmuş ve Karabük Demir ve Çelik Fabrikaları'nın temeli 3 Nisan 1937'de Başbakan İsmet İnönü tarafından atılmıştır.

Fabrikanın inşaatı kısa sürede tamamlanarak birimler (Çizelge – 7.3)'de belirtilen tarihlerde işletmeye alınmıştır. (Şekil – 7.151 –, 7.157).

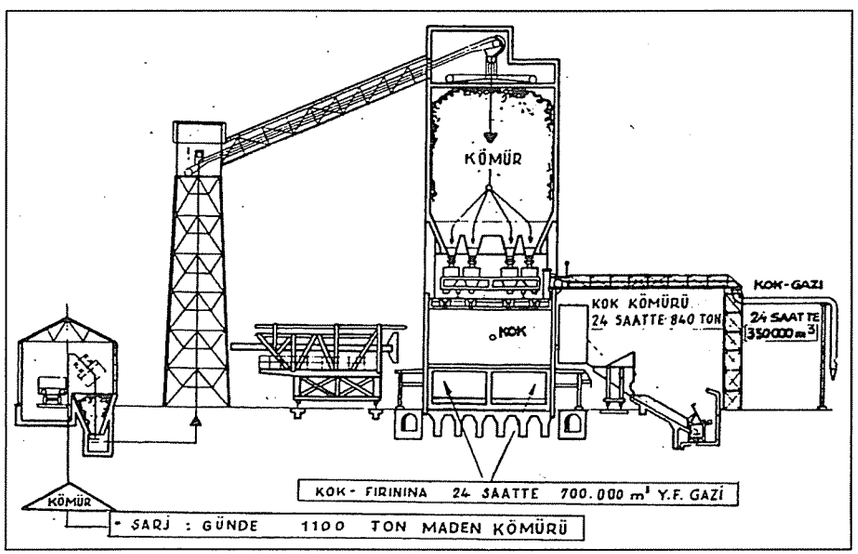
ÇİZELGE – 7.3
Karabük Demir ve Çelik Fabrikaları'nin birimlerinin işletmeye alınışı

Birimler		**İşletmeye alınışı**
Kuvvet Santrali		6 Haziran 1939
Kok Fabrikası		26 Temmuz 1939
Yüksek Fırınlar		9 Eylül 1939
Boru Fabrikası		15 Kasım 1939
Çelikhane		9 Ocak 1940
Haddehaneler	28" lik Haddehane	Nisan 1940
	16" lik Haddehane	Temmuz 1940
	12" lik Haddehane	Haziran 1940
Sac Haddesi		Kasım 1941
Sülfürik Asit ve Süperfosfat Fabrikası		15 Mayıs 1944

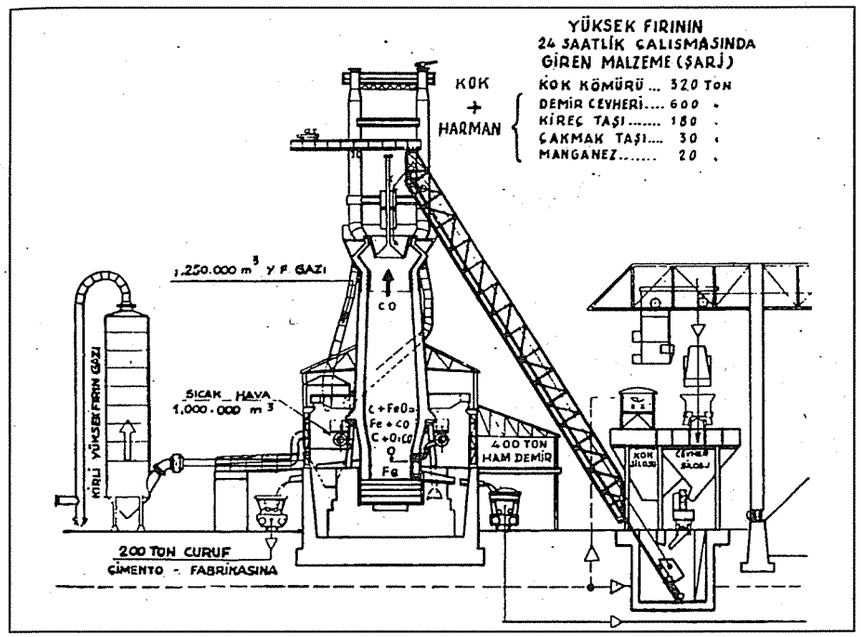
Fabrikanın kurulmaya başlanması ile birlikte 1936'da Sıvas'da Divriği'de zengin demir cevheri (hematit) yatakları bulunmuş ve bundan önce nasıl çözüleceği tartışılan hammadde sorunu da çözülmüştür. Karabük' Demir ve Çelik Fabrikaları'nın (KARDEMİR) ardından uzun bir süre sonra 1960'da Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları AŞ (ERDEMİR) kurulmuş ve fabrika 1965 üretime geçmiştir. Bunu 1970'de kurulan İskenderin Demir ve Çelik Fabrikaları AŞ (İSDEMİR) izlemiş ve bu fabrika da Eylül 1975'de çalışmaya başlamıştır.



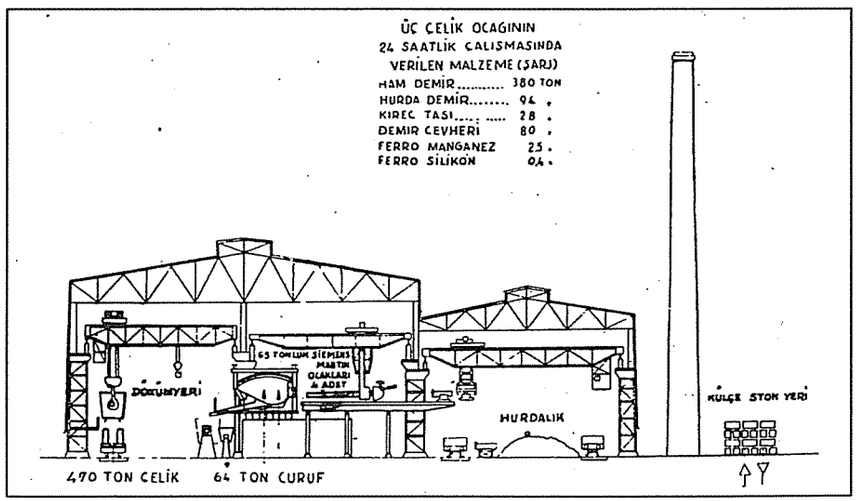
Şekil – 7.151: Karabük Demir ve Çelik Fabrikaları'nın temel atma töreninde Başvekil İsmet İnönü konuşurken. (3 Nisan 1937).
[*Türkiye Demir ve Çelik İşletmeleri* (1973), s. 18].



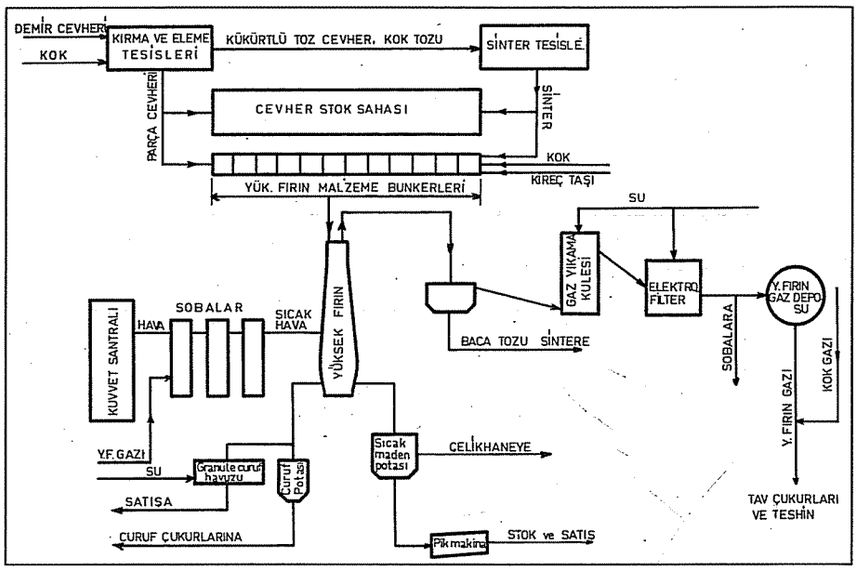
Şekil – 7.152: Karabük Demir ve Çelik Fabrikaları'ndan Kok Fabrikası'nın şematik çizimi. [*Türkiye Demir ve Çelik Fabrikaları Müessesesi* (1945), s. 8].



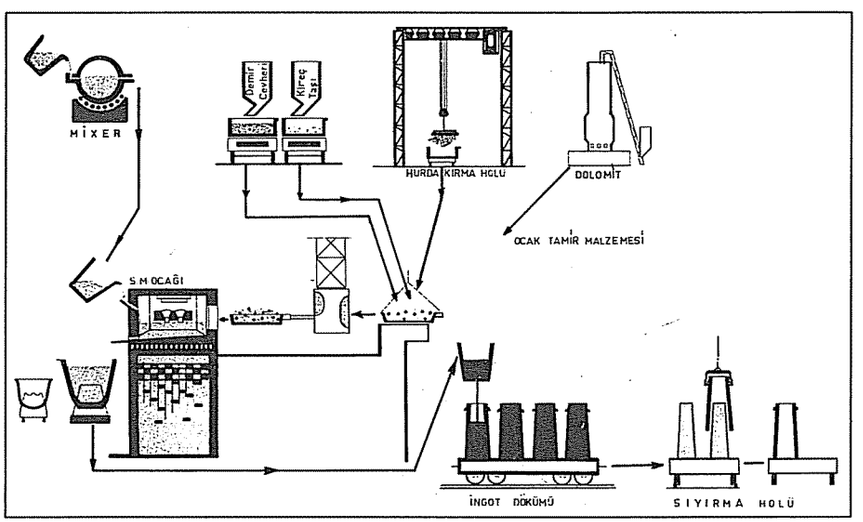
Şekil – 7.153: Karabük Demir ve Çelik Fabrikaları'ndan Yüksek Fırın'ın şematik çizimi. [*Türkiye Demir ve Çelik Fabrikaları Müessesesi* (1945), s. 10].



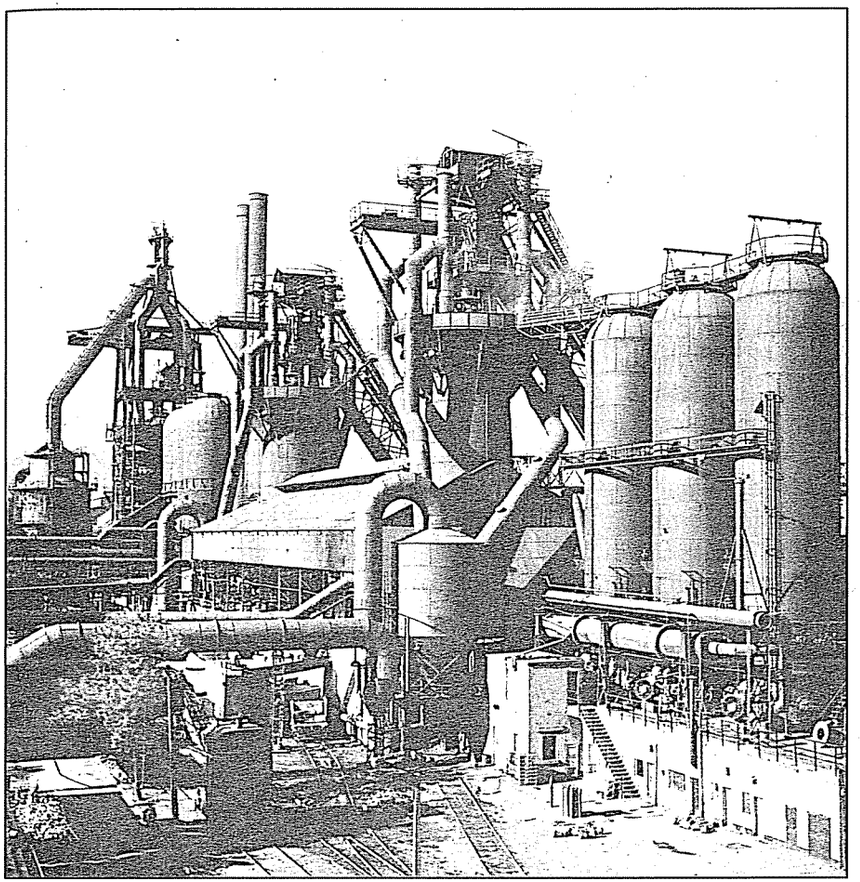
Şekil – 7.154: Karabük Demir ve Çelik Fabrikaları'ndan Çelikhane'nin şematik çizimi. [*Türkiye Demir ve Çelik Fabrikaları Müessesesi* (1945), s. 15].



Şekil – 7.155: Karabük'deki Sinter ve Yüksek Fırınlar tesislerinin akım şeması. [*Türkiye Demir ve Çelik İşletmeleri* (1973), s. 162].



Şekil – 7.156: Karabük'deki Çelikhane'nin akım şeması. [*Türkiye Demir ve Çelik İşletmeleri* (1973), s. 163].



Şekil – 7.157: Karabük'deki yüksek fırınların genel görünümü. Fırınlar 30 – 40 m yüksekliğinde olup hazne çapı 6 – 9 m dir. Fırının içine hava üfleyen üfleçler yerden 2,5 m yükseklikte ve 1,5 – 1,8 m aralıklarla yerleşterilmiş olup 1 – 1,5 atm basınçta ve 500 – 800 °C de hava üflenir. Demir sanayiinde yüksek fırınlara kadın adlarının verilmesi bir gelenek olduğundan bu fırınlar da önden arkaya doğru Fatma, Zeynep ve Ülkü olarak adlandırılmışlardır. [*Türkiye Demir ve Çelik İşletmeleri* (1973), s. 33].

ELEKTROMETALURJİ

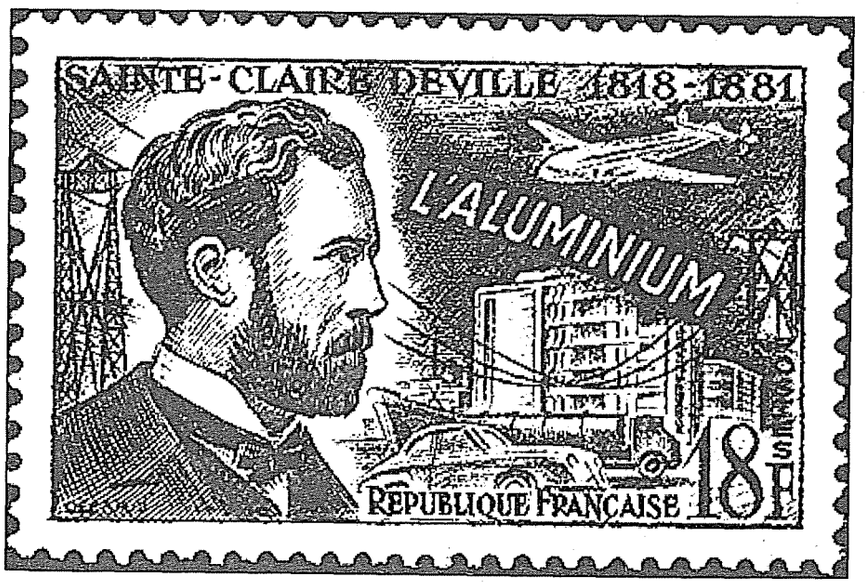
Elektrometalurji

Birçok metal oksidinin karbonla indirgenmesiyle elde edilebilmekle birlikte sodyum ve potasyum gibi alkali metaller, kalsiyum ve magnezyum gibi toprak alkali metalleri ve alüminyum karbonla indirgenerek elde edilemezler. Bu metaller ancak erimiş tuzlarının veya oksitlerinin elektrolizi yoluyla elde edilebilirler. Zaten bu elementler elektrik akımı veren pillerin yapılışının ardından erimiş bileşiklerinin elektrolizi yoluyla elde edilerek bulunmuşlardır. Bu metaller içinde sanayide geniş ölçüde kullanılabilme potansiyeline sahip olan en önemlileri alüminyum ile magnezyumdur. XIX. yüzyılın ikinci yarısında bu elementlerin ucuz ve bol olarak elde edilmelerine yönelik çeşitli çalışmalar yapılmaya başlanmış olmakla birlikte bunlar elektroliz yönteminin büyük çapta uygulanabilmesi için elektrik akımının da ucuz ve büyük çapta elde edilebilmesini beklemek zorunda kalmışlardır.

Alüminyumun bulunuşu

Alüminyum yerkabuğunda bolluk bakımından oksijen ve silisyumun ardından üçüncü sırada bulunan bir metaldir. Doğada çok yaygındır ve yaklaşık olarak 250 mineralin bileşiminde bulunduğu gibi yakut, safir ve türkuaz gibi değerli taşların da ana bileşenidir. Başta şap (potasyum alüminyum sülfat, *alum* veya *alumen*) olmak üzere çeşitli bileşikleri de Eskiçağ'dan beri bilinip kullanılmaktadır. Buna karşılık, oksidinin hidrojen veya karbon ile indirgenememesi nedeniyle bir element olarak keşfi çok gecikmiştir. 1754'de Alman kimyacı Andreas Sigismund Marggraf (1709 – 1782) şap çözeltisine alkali katarak elde ettiği çökeltiyi *şap toprağı* olarak adlandırdı ve sülfat asidinde çözerek tekrar şap elde etti. Bunun yanında kilde de şap toprağının bulunduğunu gösterdi. 1789'da Fransız kimycı Antoine Lurent Lavoisier (1743 – 1794) şap toprağını bilinmeyen bir elementin oksidi (*alumina*) olarak tanımladı. 1807'de İngiliz Humphry Davy (1778 – 1829) İsveçli kimyacı Jöns Jacob Berzelius'un (1779 –1848) önerisi üzerine elektroliz yoluyla elde etmeğe çalıştı ve elemente *aluminium* adın verdi. Danimarkalı bilim adamı Hans Christian Ørsted

(1877 – 1851) 1825'de alumina ve odun kömürü karışımını kızıl dereceye kadar ısıttıktan sonra üzerinden klor gazı geçirerek susuz alüminyum klorür elde etti ve bunu potasyum amalgamı ile muamele edip cıvayı uçurarak metalik alüminyumu elde etti. Bu buluşunu Danimarka'da az tanınan bir dergide yayınladı ve bunun sonucu olarak bilim dünyasında duyulmadı. İki yıl sonra 1827'de Alman kimyacı Friedrich Wöhler (1800 – 1882) Ørsted'in yöntemini geliştirerek uygulayıp alüminyumu ikinci kez keşfederek elde etti. Wöhler alüminyumu saf olarak elde edememekle birlikte özelliklerini tanımladı ve 1845'de bir alüminyum külçesi elde etti. Fransız kimyacı Henri Étienne Saint-Claire Deville (1818 – 1881) (Şekil – 7.158) 1854'de indirgeyici olarak potasyum yerine sodyum kullanarak saf alüminyumu elde etti. Aynı zamanda Alman kimyacı Robert Wilhelm Bunsen (1811 – 1899) sodyum klorür ile susuz alüminyum klorür karışımını erimiş halde elektroliz ederek ilk kez elektroliz yoluyla alüminyumu elde etti. Alüminyumun bir metal olarak büyük bir kullanım potansiyeli olmakla birlikte ticari ve ucuz olarak elde edilememesi kullanımını engellemekteydi.



Şekil – 7.158: Henri Étienne Saint-Claire Deville (1818 – 1881) için çıkartılmış Fransız posta pulu.

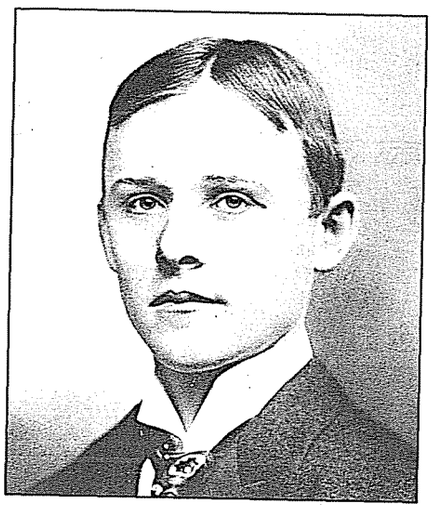
Alüminyumun ticari olarak elde edilmesi

Saint-Claire Deville yöntemi ile elde edilen alüminyum çok pahalı olduğundan yeni ve ucuz üretim yolları arayışına girilmiştir. Birbirlerinden bağımsız ve habersiz olarak Amerika'da Charles Martin Hall (1863 – 1914)[23] (Şekil – 7.159) ve Fransa'da Paul Louis Toussaint Héroult (1863 – 1914)[24]

23 *Charles Martin Hall (1863 – 1914):* Oberlin Koleji'nde öğrenim gördüğü sırada Friedrich Wöhler'in öğrencisi olan hocası Prof. F. F. Jewett ucuz bir alüminyum elde etme yöntemi bulunması için talep olduğunu ve bu konuda çalışmasını telkin etti. 1885'de mezun olduktan sonra özel laboratuvarında bu konuda çalışırken 10 Şubat 1886'da aluminin erimiş kriyolit içinde çözündüğünü ve bu karışımın elektriği iyi ilettiğini saptadı. Birkaç gün sonra 16 Şubat 1886'da bu karışımı elektroliz ederek metalik alüminyumu elde etti ve hemen ardından Boston'da bir pilıot işletme kurdu. Hall'un buluşundan habersiz olarak Fransız Paul Louis Toussaint Héroult (1863 – 1914) trafından aynı yöntemle Nisan 1886'da alüminyum elde edilerek patent alınmıştı. Hall patent alma sırasında aynı yönteme dayanan Fransız patenti ile karşılaştı. Patent önceliği dava konusu olduysa da taraflar yöntemin "Hall – Héroult yöntemi" olarak anılmasını kabul ettiler. Hall, 17 yıl için Amerika Birleşik Devletleri'nde alüminyim üretme tekelini aldı. Yüzbaşı A. E. Hunt'un sermayesi ile "Pittsbourg Reduction Company" [Pittsbourg İndirgeme Şirketi]'ni kurdu. Bunun sonucunda alüminyumun fiyatı libre başına 15 $ iken 1 $ düzeyine düştü. 1890'da İngiltere'de Manchester'de üretime başladı. Şirketinin adı 1895'de "Pittsbourg Aluminium Company" ve 1907'de "Aluminium Company of America" oldu. [Day ve McNeil, s. 318 – 319].

24 *Paul Louis Toussaint Héroult (1863 – 1914):* Fransa'nın Caen kentindeki bir deri tabakçısının oğlu olan Héroult daha okuldayken Fransız kimyacı Henri Étienne Saint-Claire Deville'in alüminyum konusundaki kitabını okuduktan sonra alüminyum üretiminde ucuz bir yöntem bulma konusunu kendisine hedef olarak seçti. Paris'de Ecole Sainte-Barbe'da öğrenim gördükten sonra Caen'e dönerek babasının işletmesindeki laboratuvarda deneylere başladı. Aluminin erimiş kriyolit içinde çözündüğünü ve bu karışımın elektriği ilettiğini saptayarak elektroliz yoluyla alüminyumu elde etti. Şubat 1886'da patent başvurusunda bulunde ve 28 Nisan 1886'da yönteminin patentini aldı. 1887'de Salindres'de Devillè yöntemi ile üretim yapan Alfred Rangod Pechiney'e başvurdu ve elektroliz yöntemini geliştirip erimiş bakır katod kullanarak alüminyum bronzu elde etti. İsviçre'de demir üreticisi olan ve Rhine üzerindeki Schaffhausen Şelalesi yakınında olması nedeniyle ucuz ve bol elektrik üretme potansiyeli bulunan J. G. Nehe Sohne şirketi ile ortak olarak 1887'de "Societe Metallurgique Suisse" [İsviçre Metalurji Şirketi]'ni kurdu. Charles Martin Hall'a karşı patent haklarını savunmak için Amerikaya gitti. Bu şirket 18 Kasım 1888'de Alman AEG gubu, Oerlikon ve Escher Wyss ile birleşerek "Aluminium Industry Actiengesellschaft Neuhausen" [Neuhausen Alüminyum Sanayii Anonim Şirketi] adı altında dev bir şirkete dönüştü. [Day ve McNeil, s. 340 – 341].

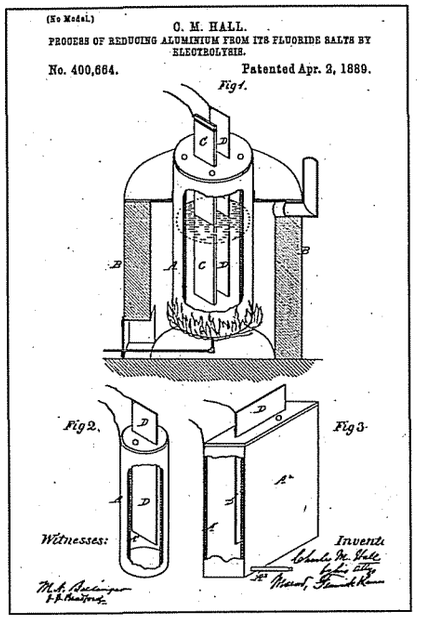
(Şekil – 7.160) 1886'da aluminyum oksidi (Al_2O_3) eritici olarak kriyolit ($3NaF.AlF_3$ = Na_3AlF_6) kullanıp elektroliz ederek alüminyumu elde etmişlerdir.



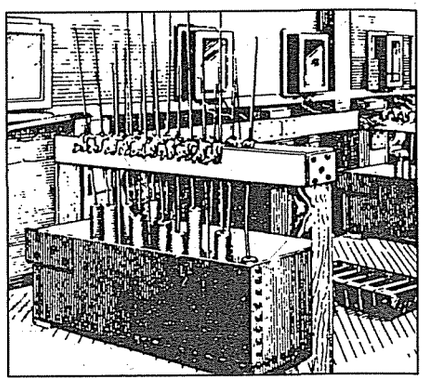
Şekil – 7.159: Charles Martin Hall. (1863 – 1914).

Şekil – 7.160: Paul Louis Toussaint Héroult. (1863 – 1914).

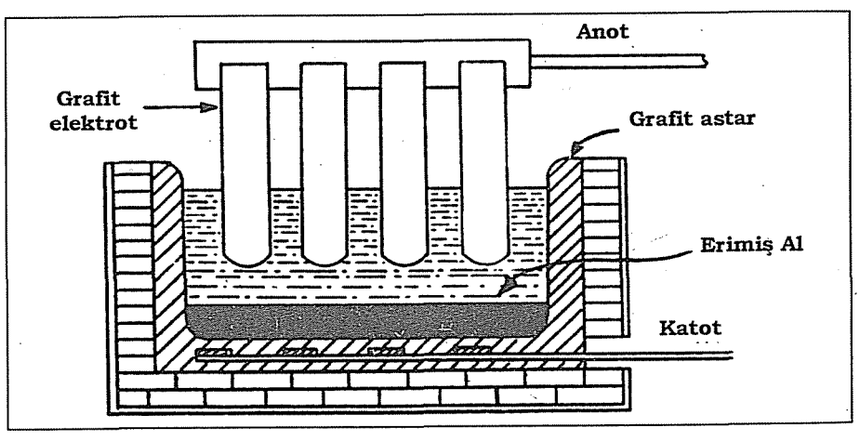
Hall ve Héroult'nun yöntemleri aynı olmakla birlikte tasarladıkları elektroliz kapları birbiriden farklıdır. Her ikisi arasında bir öncelik söz konusu olmadığından yöntem "Hall – Héroult yöntemi" olarak adlandırılmıştır. Hall'un patentindeki elektroliz hücresi resmi ile ilk elektroliz hücreleri (Şekil – 7.161, 7.162 ve 7.163)'de ve Héroult'nunkiler de (Şekil – 7.164 ve 7.165)'de verilmiştir. Alüminyumun ticari olarak elde edilmesinin yönteminin bulunuşunun ardından üretim hızla artarken fiyatı da hızla düşmüştür. Amerika'da alüminyumun kg başına fiyatı 1886'da 11 $ iken 1893'de 1,5 $ ve 1914'de 0,4 $ düzeyine düşmüştür. Böylece, XIX. yüzyılda fiyatı nedeniyle çok kısıtlı kullanım alanı olan alüminyum XX. yüzyılda kendisi ve alaşımları halinde demirden sonra en çok kullanılan metal durumuna gelmiştir.


(No Model.)
C. M. HALL.
PROCESS OF REDUCING ALUMINIUM FROM ITS FLUORIDE SALTS BY ELECTROLYSIS.
No. 400,664. Patented Apr. 2, 1889.
Fig 1.
Fig 2.
Fig 3.
Witnesses:
Inventor

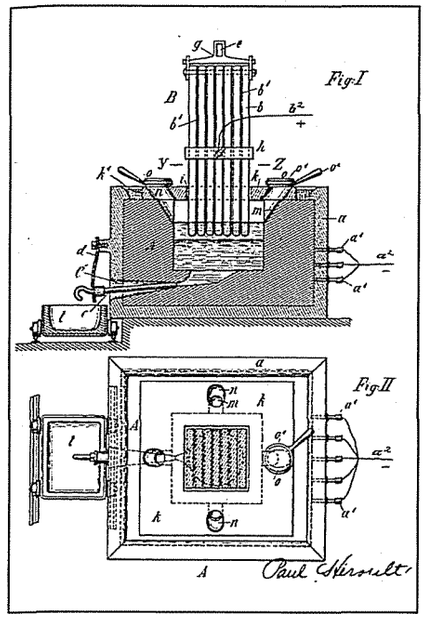
Şekil – 7.161: Charles Martin Hall'un 2 Nisan 1889 tarih ve USP 400.664 numaralı patentindeki elektroliz kabı.



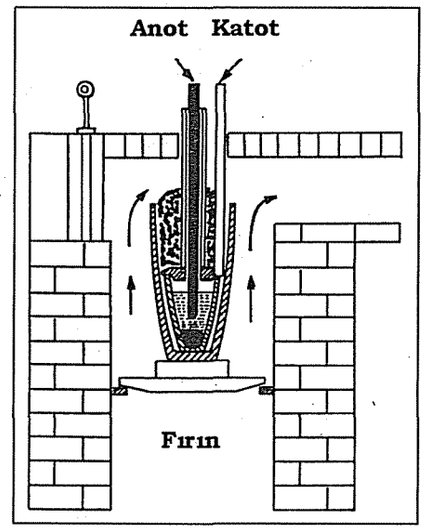
Şekil – 7.162: Hall tarafından Pittsburgh'da 1888'de ilk kez büyük miktarda alüminyum üretimi. [Feldman ve Ford, s. 249].



Şekil – 7.163: Hall'un 1886'daki yöntemine göre erimiş kriyolitte (Na_3F_6) çözünmüş olan saf alüminyum oksidin (alumina, Al_2O_3) elektrolizi. Geçen elektrik akımının etkisiyle banyo sıcaklığını korur. (USP: 400.664, 400.667 ve 400.766). [Darling, s. 110].



Şekil – 7.164: Héroult'nun 1886'daki patentine göre (Fransız patenti 175.711) elektroliz hücresi.



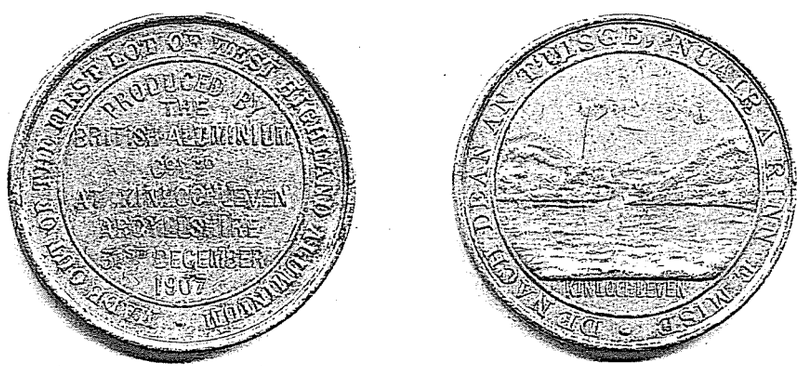
Şekil – 7.165: Héroult'nun 1886'daki patentine göre elektroliz hücresi. Daha sonra dıştan ısıtmanın gereksizliğini anlayarak aldığı yeni bir patentle bunu kaldırmıştır. [Darling, s. 110].

Aluminyum oksit doğada boksit minerali halinde bulunur. Bu mineralde alüminyum oksit yanında bir miktar demir oksit de bulunduğundan elektroliz işleminden önce alüminyum oksidin bu mineralden saf olarak ayrılması gereklidir. Karşıt durumda elektroliz sırasında demir de elementel olarak ayrılır ve bir alüminyium – demir alaşımı ele geçer. Alüminyum oksidin saf olarak elde edilmesi için Avusturyalı kimyager Carl Josef Bayer (1847 – 1904) (Şekil – 7.166) tarafından 1887'de kendi adıyla anılan ve günümüzde de kullanılan kimyasal ayırma yöntemi bulunmuştur.

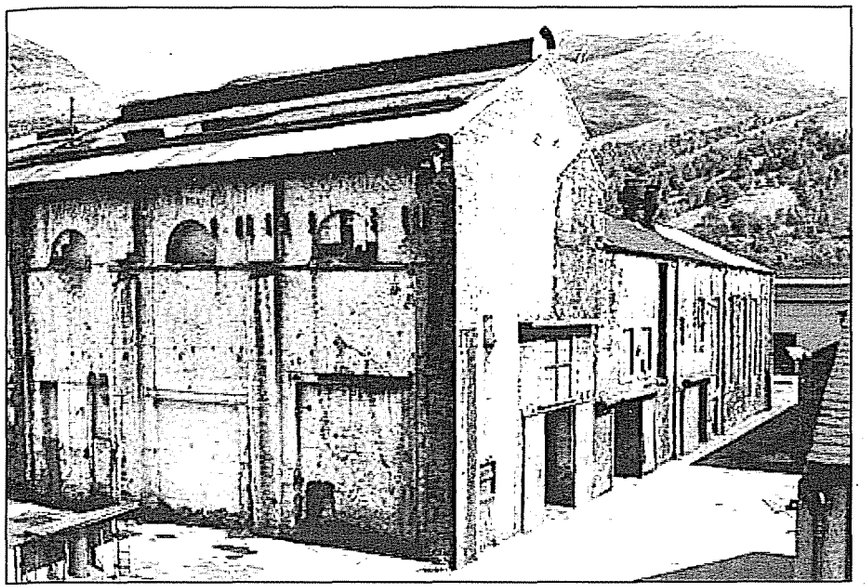
XIX. yüzyılın sonlarında ve XX. yüzyılın başlarında Amerika, İngiltere ve Fransa'da çok sayıda alüminyum üretim tesisi kurulmuştur. Bu şirketler ürettikleri alüminyum ürünlerini tanıtmak ve pazarlamak için ilânlar vermişlerdir. Bu dönemde ilk üretilen alüminyumdan hatıra madalyaları baştırmak da bir gelenek olmuştur.

Şekil – 7.166: Carl Josef Bayer (1847 – 1904) için yönteminin bulunuşunun yüzüncü yılında çıkartılmış Avusturya posta pulu.

İngiltere'de 7 Mayıs 1894'de kurulan "The British Aluminium Co. Ltd." 1904'de Kinlochleven'de bir fabrika kurmaya başlamıştır. Fabrika 1909'da tamamlanmış olmakla birlikte 1907 sonunda kısmen üretime geçmiş ve üretilen ilk alüminyumdan hatıra madalyası basılmıştır. (Şekil – 7.167, 7.168 ve 7.169).



Şekil – 7.167: Bir yüzünde "The British Aluminium Co. Ltd. tarafından Ardyllshire'deki Kinlochleven'de 31 Aralık 1907'de ilk üretilen Batı İskoçya alüminyumundan yapılmıştır" ifadesi ve öteki yüzünde de Leven Gölü ve fabrikanın görüntüsü vardır. (Çapı 38 mm). [E. Dölen koleksiyonu].

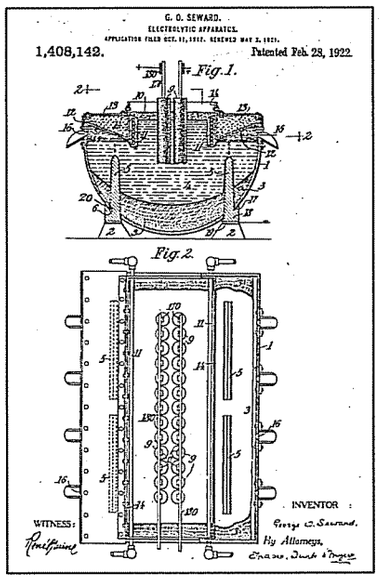


Şekil – 7.168: "The British Aluminium Co. Ltd. tarafından Ardyllshire'deki Kinlochleven'de kurulan fabrikanın günümüze ulaşan kalıntıları.

Şekil – 7.168: The British Aluminium Co. Ltd. tarafından verilmiş olan bir ilân. XIX. yüzyılın sonlarında ve XX. yüzyılın başlarınada çok sayıda alüminyum üretim tesisi kurulmuş ve üretilen alüminyum ürünlerini pazarlamak için ilânlar verilmiştir.

Magnezyum elde edilmesi

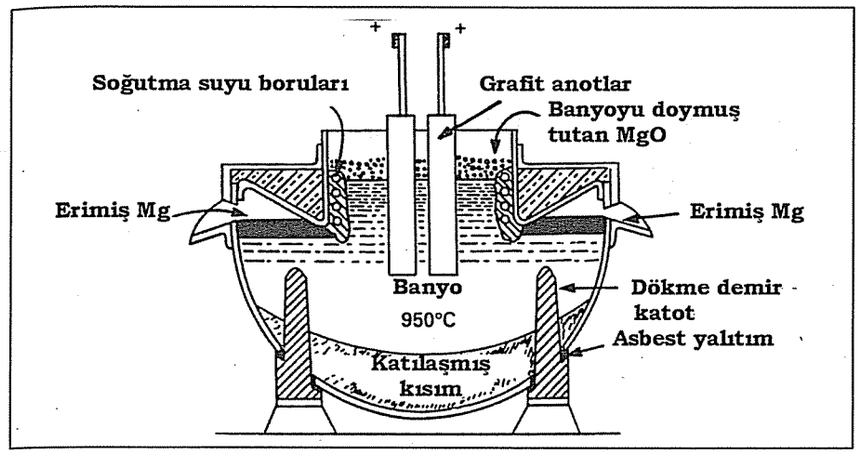
Magnezyum günümüzde tek başına ve alüminyum veya diğer metaller ile alaşımları biçiminde çok yaygın olarak kullanılan bir metaldir. Magnezyum ilk kez 1808'de İngiliz kimyacı Humphry Davy tarafından elektroliz yoluyla elde edilerek bir element olarak tanımlanmıştır. Fransız Antoine Bussy (1794 – 1882) 1831'de magnezyum klorürü metalik potasyum ile reaksiyona sokarak daha büyük miktarda magnezyum elde etmiştir. Georg O. Seward tarafından 1920'de bir elektroliz yöntemi geliştirilmiştir. Buna göre, magnezyum, baryum ve sodyum fluorürleri içeren bir elektrolitte çözülen saf magnezyum oksit 9 – 16 volt ve 9.000 – 13.000 amperlik bir akımla elektroliz edilir. (Şekil – 7.170 ve 7.171).



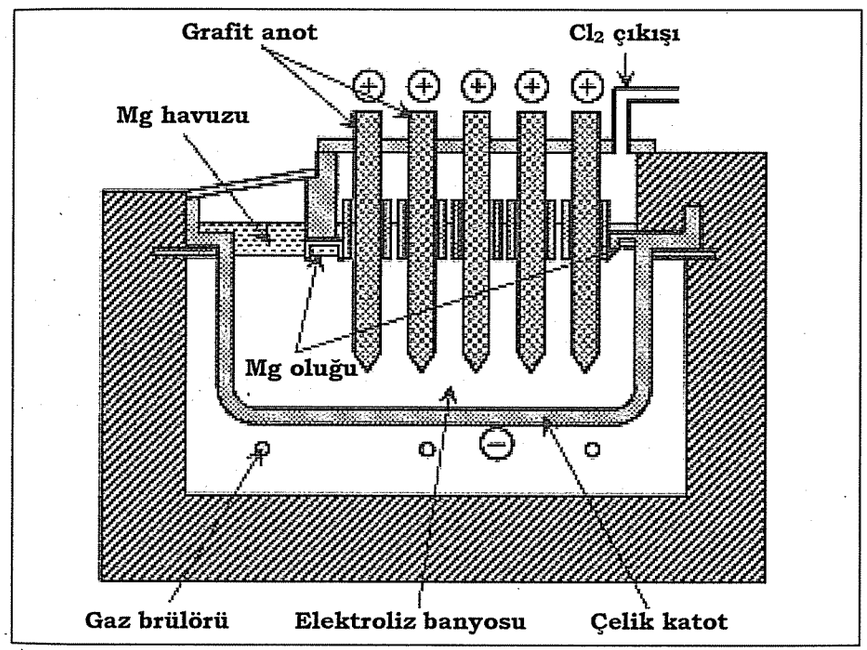
Şekil – 170: Georg O. Seward tarafından alınan 28 Şubat 1922 tarih ve USP 1.408.142 numaralı patentteki elektroliz hücresinin resmi.

Magnezyum elde etmek için farklı bir yöntem Dow Chemical Co. tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemde deniz suyundan kireç ile çöktürülen magnezyum hidroksit veya dolomitten elde edilen magneszyum oksit klorür asidi ile magnezyum klorüre dönüştürülür ve daha sonra eritilerek

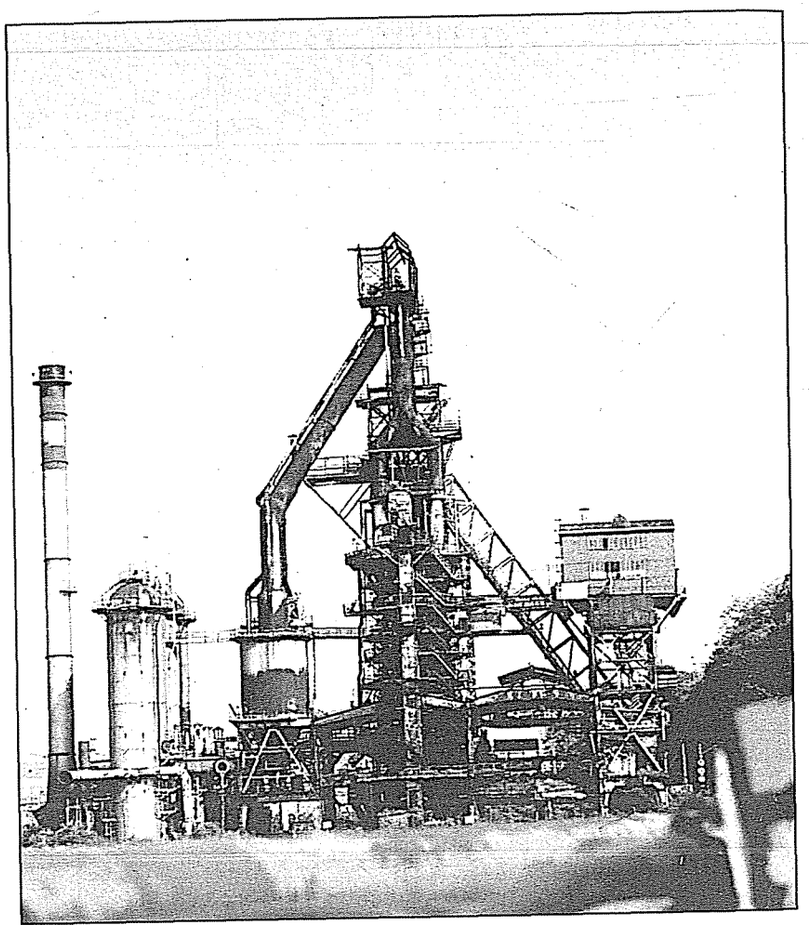
elektroliz edilir. Elektrolizde çıkan klor gazı yeniden klorür asidine dönüştürülerek deveye sokulur. (Şekil – 7.172).



Şekil – 7.171: George Seward'ın elektroliz hücresi. [Darling, s. 116].



Şekil – 7.172: Dow yöntemine göre erimiş magnezyum klorürün elektrolizi ile metalik magnezyumun elde edilmesi.



BÖLÜM – 8

CAMCILIK

CAM ÜRETİMİNİN GELİŞİMİ

Cam ve cam yapımı

Uzun bir geçmişi olan cam, amorf yani kristalize olmayan yapay bir maddedir.[1] Genellikle saydam olmakla birlikte, çoğu kez yarısaydam veya opaktır. Cam silis [silisyum dioksit, SiO_2] ile bir alkalinin [örneğin, soda (Na_2CO_3) veya potas (K_2CO_3)] ve bazen başka bir bazın [örneğin, kireç (CaO) veya kurşun(II) oksit (PbO)] birlikte eritilmesiyle elde edilir. Cam çeşitli metal oksitlerinden az miktarda katılarak kolaylıkla renklendirilebilir. Eritildiğinde plastik ve çekilebilir duruma geçer ve bu durumdayken kalıplama, presleme, döküm veya üfleme gibi yöntemlerle kolaylıkla biçimlendirilebilir. Kristalize bir yapıya sahip olmayan cam kimyasal bakımdan genel olarak bir alkali silikattır ve viskozitesi sonsuz olan bir çözelti olarak da tanımlanır. Üretilen cam eşya doğrudan soğutulursa camın kristalize duruma geçmesi nedeniyle çatlama ve kırılmalar ortaya çıkar. Bunu önlemek için üretilen eşya eritme fırınına göre daha düşük sıcaklıkta bulunan bir tavlama fırınına konulur ve yavaş bir biçimde soğuması sağlanır.

Cam yapımında silisyum dioksit kaynağı olarak kullanılan kumun saflığı ve niteliği büyük önem taşır. Eski Mısır'da cam yapımında İskenderiye yakınlarındaki göllerden sağlanan *natron* (doğal soda) kullanılmıştır. Soda elde etmek için göl suyu açık havuzlarda güneş ısısı yardımıyla buharlaştırılmıştır. Benzer yolla Van Gölü'nün suyundan da soda elde edilmiş olduğu bilinmektedir. Potas kaynağı olarak

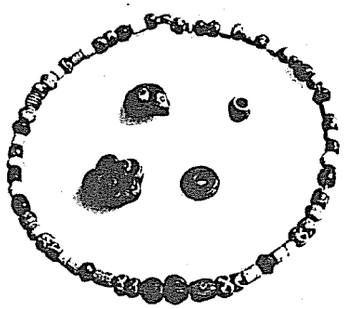
---

1 Cam volkanik bir oluşum olarak *obsidien* adı altında doğada bulunur.

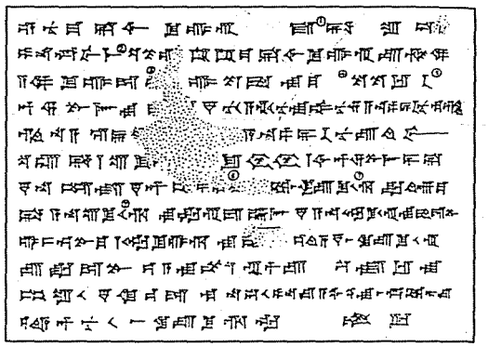
odun külü kullanılmıştır. Başlangıçta kül doğrudan kullanılırken daha sonraları saflaştırılmış kül kullanılarak elde edilen camın niteliği yükseltilmiştir.

Camın geçmişi

Mezopotamya'da İ.Ö. 3500 – 3000 yıllarında camsı sırların ve İ.Ö. 2500 dolaylarında da bütünüyle cam olan boncukların yapılmış olduğu bilinmektedir. (Şekil – 8.1). En eski cam kap kırıkları Ninova yakınında bulunmuş olup İ.Ö. 1525 – 1475 olarak tarihlendirilmektedir. Cam üretiminden söz eden bilinen en eski yazılı metin İ.Ö. 650 tarihine ilişkin bir kil tablettir. (Şekil – 8.2).

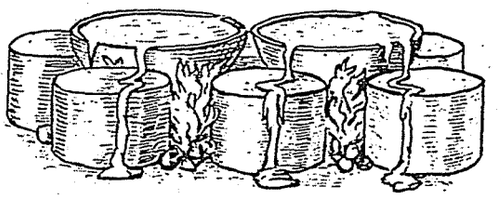


Şekil – 8.1: Opak cam boncuklar. [Jaschke, s. 17].



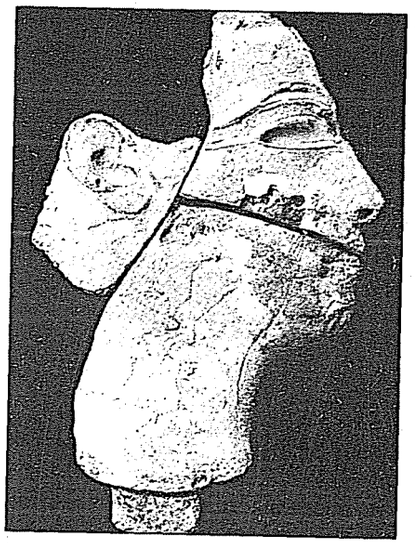
Şekil – 8.2: Cam eritmeden söz eden en eski kil tablet. (Sardanapal Kitaplığı, İ.Ö. 650). [Jaschke, s. 16].

Firavun III. Tuthmosis'in (İ.Ö. 1504 – 1450) Mezopotamya'yı fethinden sonra buradan getirilen ustalar tarafından Mısır'da cam eşya üretimi başlamıştır. (Şekil – 8.3). Bilinen en eski örnekler İ.Ö. 1470 dolaylarında yapılmış olan üç kaptır.. İ.Ö. XV. yüzyıldan İ.Ö. 1150 tarihlerine kadar başlıca üretim yöntemi olarak iç kalıp yöntemi kullanılmıştır. Mısır'da cam yapımı İ.Ö. IV. yüzyıla kadar sürmekle birlikte gitgide önemini kaybetmiştir. (Şekil – 8.4 ve 8.5).



Şekil – 8.3: Eski Mısır'da kaplar içinde cam hamuru elde edilmesi. (İ.Ö. 1500). [Jaschke, s. 16].

Şekil – 8.4: Thutmosis III dönemine ilişkin opak cam kadeh. (İ.Ö. 1450). [Jaschke, s. 17].



Şekil – 8.5: Eski Mısır'a ilişkin opak cam portre. (İ.Ö. 1000). [Jaschke, s. 15].

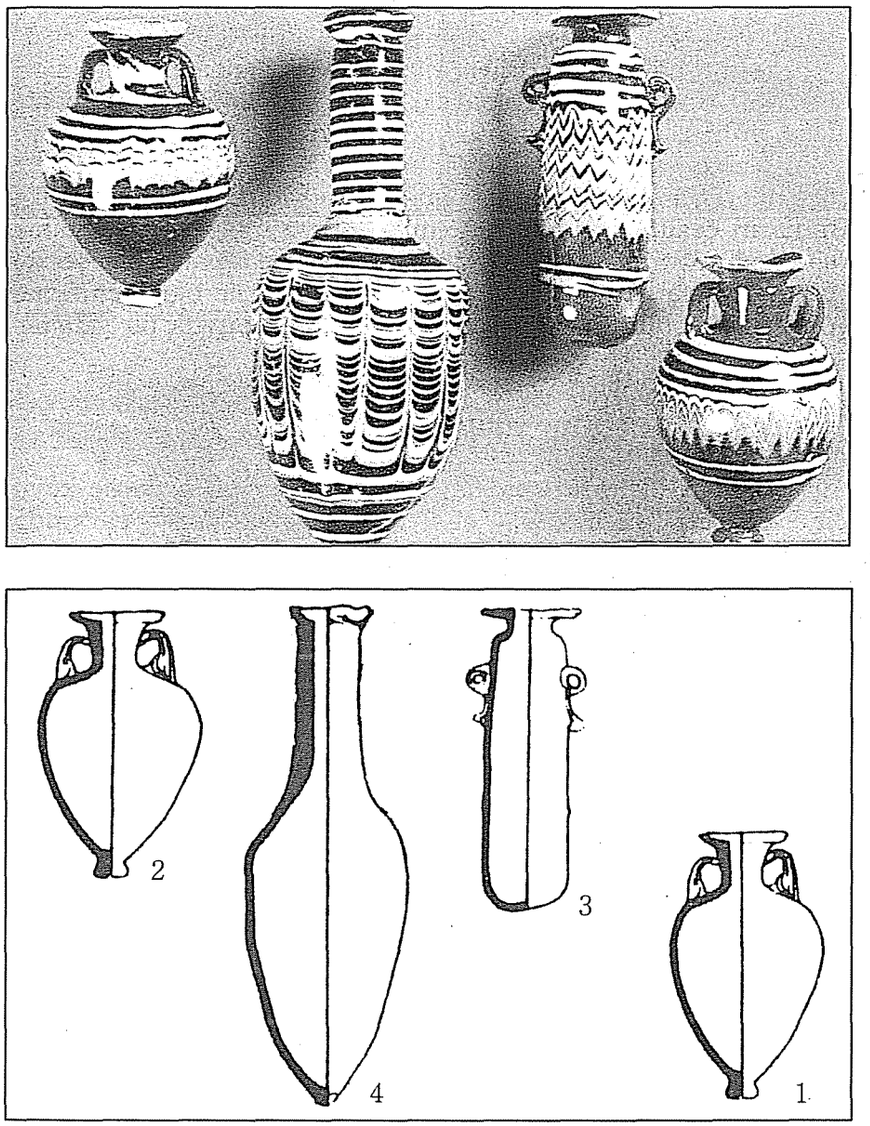
Suriye camcılığının geçmişi İ.Ö. 1500 yıllarına kadar gitmekle birlikte İ.Ö. IX. yüzyılda önem kazanmaya başlar. Bu tarihten sonra Belus ırmağından elde edilen iyi kumu kullanan Sidon (Sayda) ve Tyre (Sûr) başlıca merkezler durumuna gelmiştir. İ.Ö. VII. ve VI. yüzyıllardan sonra Kıbrıs ve Rodos'ta da cam yapılmaya başlanmıştır. Cam yapımı İ.Ö. IX. yüzyılda İtalya'ya ve İ.Ö. V. yüzyılda Adriyatik'in kuzeyine ulaşmıştır. Helenistik dönemde başlıca merkezler İskenderiye

(Mısır), Suriye ve Yunanistan'dır. Camcılık İ.Ö. 100 dolaylarında İtalya'da yaygınlaşmıştır. (Şekil – 8.6, 8.7 ve 8.8). Renkli camın geçmişi çok eskilere dayanmakla birlikte ilk saydam cam İ.Ö. 660'da Mısır'da ortaya çıkmıştır.

Şekil – 8.6: Opak cam sürahi. (İ.Ö. V. yüzyıl). [Duruel, s. 9].

Şekil – 8.7: Roma dönemine ilişkin saydam cam sürahi. (İ.S. II. yüzyıl; Museum der Stadt, Regensburg). [Jaschke, s. 23].

İ.Ö. 100 – İ.S. 400 yılları arasını kapsayan Roma döneminde başlıca üretim merkezleri Suriye, İskenderiye, İtalya ve Galya'dır. Bu dönemde camın saydamlığı büyük oranda arttırılmıştır. Sidon camcılığından 1402 yılına kadar olan döneme *Suriye camcılığı* ve 622 – 1402 yıllarını kapsayan döneme de *İslâm camcılığı* adı verilir Timur'un 1402'de Ortadoğu'yu istilasına kadar süren İslâm camcılığı döneminde başlıca merkezler Suriye (Halep ve Şam), Mısır, Irak (Bağdat) ve Samarra'dır. Anadolu Selçukluları dönemine ilişkin çeşitli kalıntılar cam yapımının Anadolu'da oldukça ileri bir düzeyde olduğunu göstermektedir.



Şekil – 8.8: Çanakkale'deki Dardanos'da bulunmuş ve iç kalıp yöntemi ile üretilmiş olan opak cam kaplar. 1) Amphoriskos (İ.Ö. VI. yüzyıl ortaları – erken IV. yüzyıl; Envanter No: 883), 2) Amphoriskos (Envanter No: 884), 3) Alabastron (Envanter No: 881), 4) Amphoriskos (İ.Ö. III. yüzyıl – geç I. Yüzyıl; Envanter No: 882). (İstanbul Arkeoloji Müzesi). [Atik, s. 18 – 19, Şekil 12].

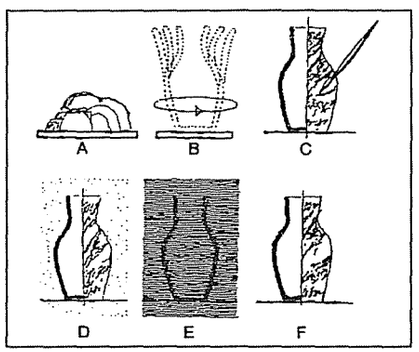
ESKİ CAM BİÇİMLENDİRME YÖNTEMLERİ

Eski Çağ'da geliştirilen başlıca cam işleme yöntemleri sinterleştirme yöntemleri [cam çamuru ve binbirçiçek (mosaic glass) yöntemleri], kalıplama yöntemleri [iç kalıp (core glass), kalıp içine döküm ve kalıplama yöntemleri] ve üfleme yörtemleri olmak üzere üç ana grup alıtında toplanabilir. Bunların çeşitli uygulama biçimleri olduğu gibi soğuk kesme ve cam tozunu bir kalıp içinde eritme (pate de verre) yöntemleri de vardır. İ.Ö. I. yüzyılda üfleme ile biçimlendirme yönteminin bulunması cam eşya yapımında büyük bir gelişme sağlamıştır.

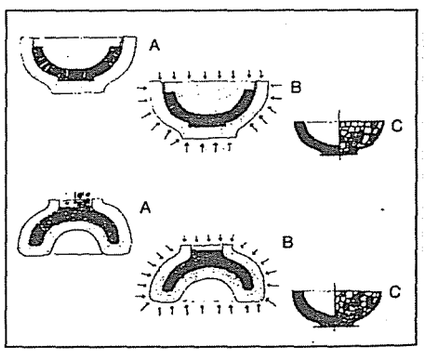
A) Sinterleştirme yöntemleri

1) Cam çamuru yöntemi: Cam tozu bir bağlayıcı ile koyu bir çamur yapılarak elle veya çömlekçi çarkında biçimlendirilir. İstendiğinde üzerine kabartmalar yapılır ve ardından düşük sıcaklıkta fırınlanarak sinterleşme yoluyla cam parçalarının birbirine yapışması sağlanır. (Şekil – 8.9).

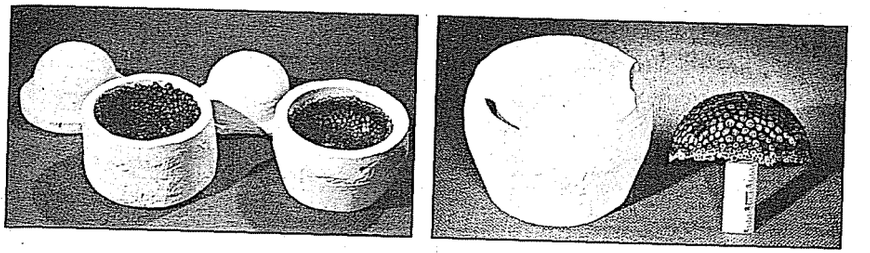
2) Cam mozaik (binbirçiçek, millefiori, mosaic glass) yöntemi: Renkli cam parçacıkları iki parçalı veya tek parçalı bir kalıp içine doldurulup düşük sıcaklıkta fırınlanarak cam parçacıklarının sinterleşmesi sağlanır. Daha sonra dış kalıp kırılarak cam parça çıkartılır. (Şekil – 8.10, 8.11 ve 8.12).



Şekil – 8.9: Cam çamuru yönteminin uygulanması. [Küçükerman (1985), s. 39].



Şekil – 8.10: Cam mozaik yönteminin uygulanması. [Küçükerman (1985), s. 45].



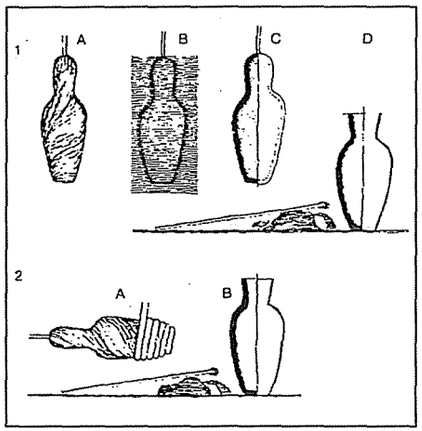
Şekil – 8.11: Mozaik kâse yapımı. Renkli cam bilyeler bir kalıba doldurulur, kalıbın konveks kapağı üzerine kapatılır ve kalıp kapalı bir fırına konularak cam eritilir. Bu sırada bilyeler eriyerek birbiriyle kaynaşır. [Weinberg, s. 32].

Şekil – 8.12: Cam mozayik yöntemi ile üretilmiş İ.Ö. I. yüzyıla ilişkin kap. Ağız çapı 9,5 cm ve yüksekliği 4,8 cm. [Weinberg, s. 66].

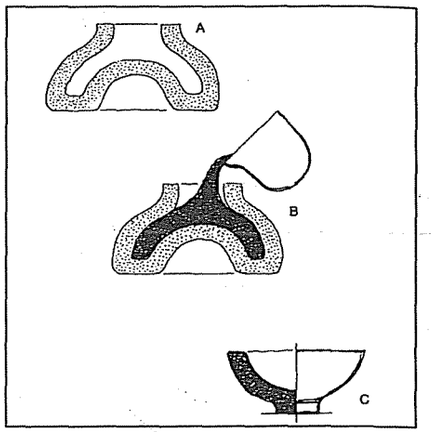
B) Kalıplama yöntemleri

1) İç kalıp (core glass) yöntemi: Kum ve bitkisel liflerder yapılmış bir iç kalıp erimiş cam hamuru içine daldırılır veya cam hamuru kalıp üzerine sarılarak yüzeyi düzleştirilir. Daha sonra cam soğuyunca kalıp parçalanarak çıkartılır. Bu yöntemle elde edilen kabın iç yüzeyi düzgün olmaz. (Şekil – 8.13).

2) Kalıba döküm yöntemi: Erimiş cam hamuru bir kalıp içine dökülür. Soğuduktan sonra kalıp kırılarak ürün çıkartılır. (Şekil – 8.14).



Şekil – 8.13: İç kalıp yönteminin uygulanması. [Küçükerman (1985), s. 41]

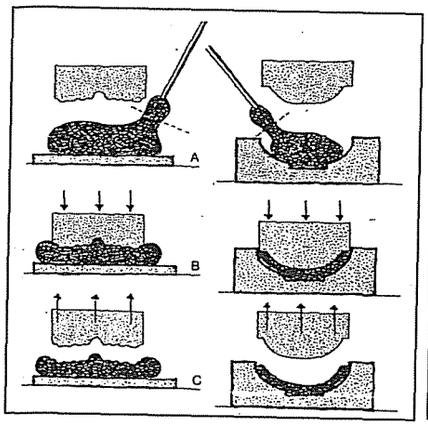


Şekil – 8.14: Kalıba döküm yönteminin uygulanması. [Küçükerman (1985), s. 47].

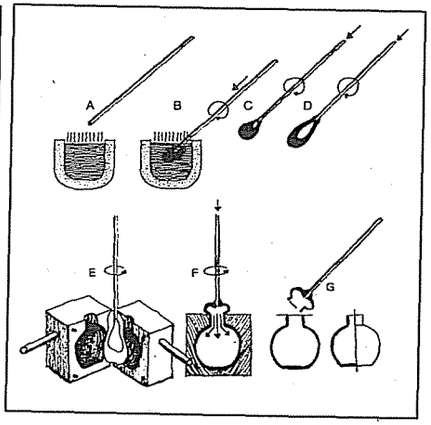
3) Kalıplama yöntemi: Uygun bir yüzey veya kalıp içine erimiş cam hamuru konulur ve üzerine uygun bir kalıp bastırılarak biçimlendirilir. Cam soğuyunca bastırılan kalıp alınır. Bu yöntemle öteki yöntemlerin aksine aynı kalıp kullanılarak çok sayıda üretim yapılabilir. (Şekil – 8.15).

C) Üfleme yöntemi

Camın gerçek anlamda biçimlendirilmesi üfleme yöntemine dayanır. Bu yöntemin temeli üfleme borusunun ucuna potadan bir parça erimiş cam sarıldıktan sonra borudan ağızla hava üflenmesine dayanır. Hava üflenirken cam hamuru balonlaşır ve bu sırada üfleme borusu çevrilerek ürünün simetrik olması sağlandığı gibi dışarıdan da bir spatül yardımıyla veya bir yüzeye bastırma gibi yollarla çeşitli biçimlendirmeler yapılır. Biçimlendirme bütünüyle bunu yapan ustanın becerisine bağlıdır. Bu yöntemin çok değişik uygulama biçimleri olduğu gibi bir kalıp içine üfleme yapılarak standart ürün üretimi de yapılabilir. (Şekil – 8.16 ve 8.17). Üfleme boruları başlangıta pişmiş topraktan bir ucu bulunan kamış borular biçimindeyken daha sonraları bakır, pirinç veya demirden yapılmış borular kullanılmaya başlanmıştır.



Şekil – 8.15: Kalıplama yönteminin uygulanması. [Küçükerman (1985), s. 49].



Şekil – 8.16: Üfleme yönteminin uygulanması. [Küçükerman (1985), s. 53].

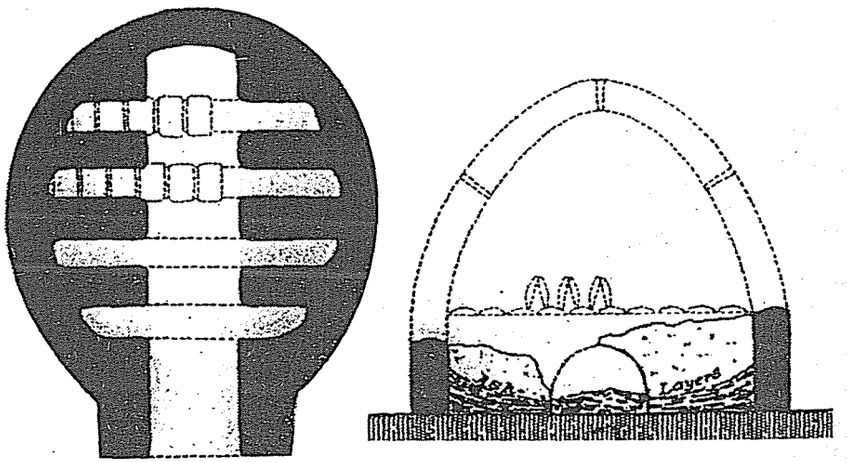
Şekil – 8.17: Kalıp içine üfleme yöntemi ile üretilmiş üzeri kabartmalı kap. (İ.S. II. yüzyıl başı, ağız çapı 6,9 cm ve yüksekliği 12,2 cm). [Weinberg, s. 129].

Üfleme yönteminin bulunuşunun ardından sinterleştirme yöntemleri genel olarak terk edilmiş olmakla birlikte kalıplama yönteminin kullanımı sürmüştür. Başlangıçta pişmiş topraktan yapılan ve bu nedenle yüzeyi düzgün olmayan kalıpların yerini metalden yapılmış düzgün yüzeyli ve

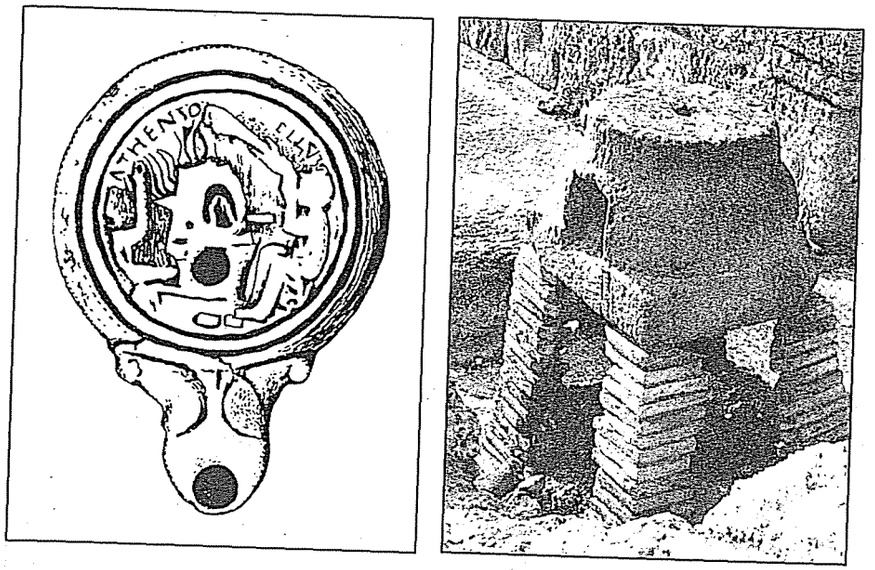
iki parçalı kalıplar almıştır. Şişe, bardak ve benzeri malzemenin üretiminde bir kalıp içine üfleme yöntemi giderek yaygınlaşmıştır. Günümüzde bu tür malzemenin seri üretimi otomatik makinelerde kalıplama veya kalıp içine üfleme yöntemleri kullanılarak yapılmaktadır.

ESKİÇAĞ'DA CAM FIRINLARI

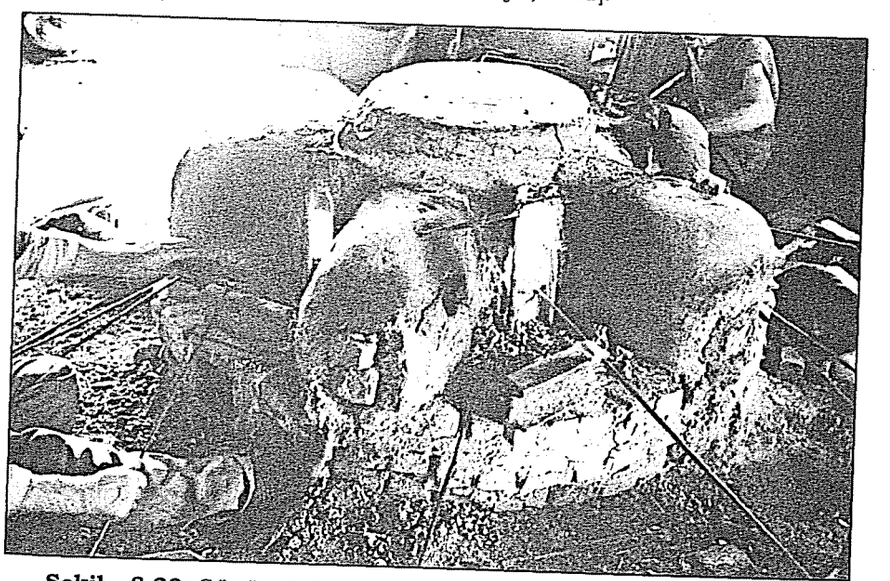
Soda camları oldukça düşük sıcaklıklarda akıcı hale geldiği halde potas ve kireç camları için daha yüksek sıcaklıklara gerek vardır. Cam eşya üretiminde en önemli sorun üretilen eşyanın bir süre sıcakta tutulup tavlandıktan sonra yavaş yavaş soğutulmasıdır. Bu durum hem eritmeyi ve hem de tavlamayı sağlayacak nitelikte özel fırınların geliştirilmesini gerektirmiştir. Mezopotamya'daki eski cam fırınlarına ilişkin Bağdat yakınlarında bulunan ve İ.Ö. VI. yüzyıla ilişkin olan bir fırın kalıntısı (Şekil – 8.18) dışında fazla bir bilgi olmamakla birlikte Roma dönemine ilişkin bazı buluntular vardır. (Şekil – 8.19). Günümüzde Batı Anadolu'da geleneksel yöntemle gözboncuğu yapan ustaların kullandıkları fırınların yapısı eski cam fırınlarının yapısı konusunda yol gösterici olabilir. (Şekil – 8.20 ve 8.21).



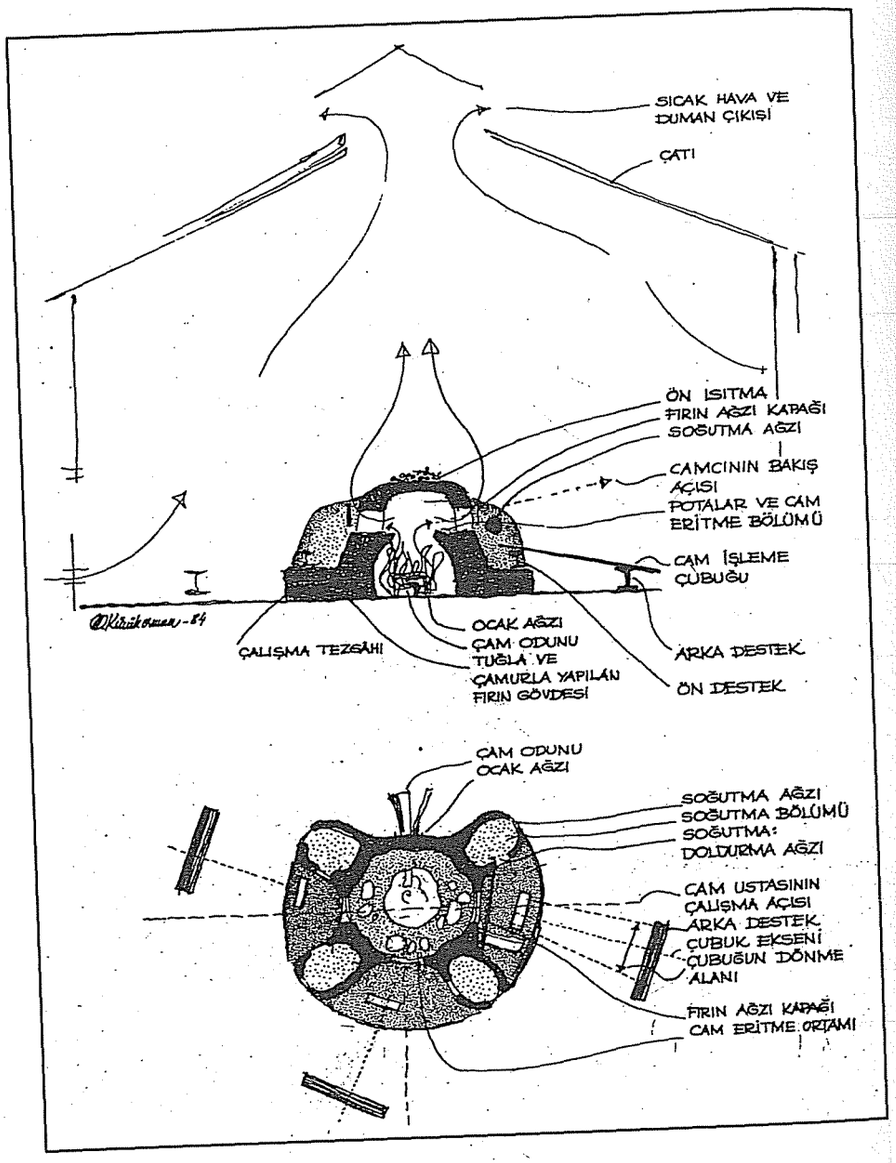
Şekil – 8.18: Bağdat yakınında yapılan kazılarda bulunmuş olan, İ.Ö. VI. yüzyıldan kalma ve büyük olasılıkla cam yapımında kullanılmış kubbeli fırın. [Levey, s. 26].



Şekil – 8.19: Yugoslavya'da Asseria'da bulunmuş olan bir yağ kandili üzerinde Roma cam fırını ve bir üfleme borusu ile çalışan camcı ustası (solda) ve Sardunya'da Nora'da bulunmuş olup buna çok benzeyen cam fırını (sağda). [Klein ve Lloyd, s. 11].



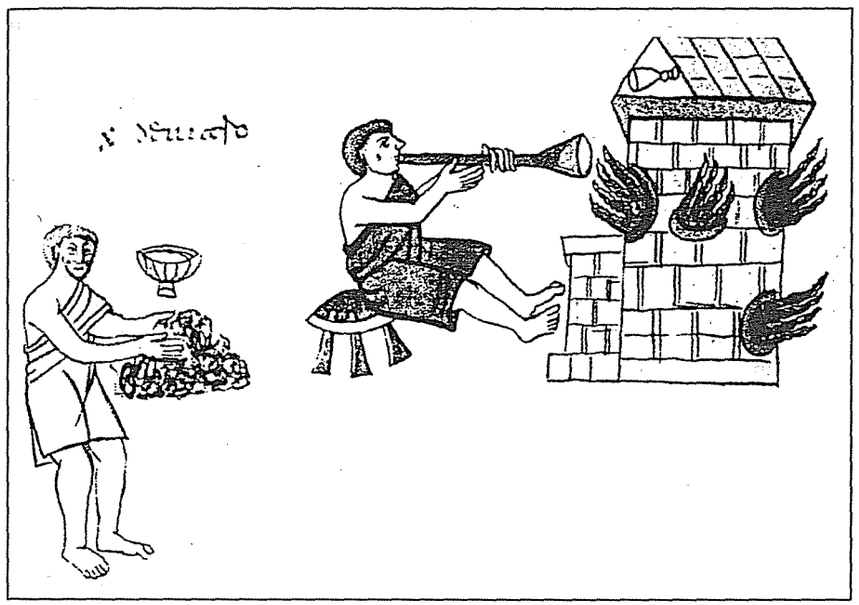
Şekil – 8,20: Günümüzde Batı Anadolu'da gözboncuğu yapılmasında kullanılan cam fırını. [Küçükerman (1987), s. 56].



Şekil – 8.21: Günümüzde Batı Anadolu'da gözboncuğu yapılan atölyedeki cam fırınının kesiti, ısıtma sistemi ve sıcaklık dağılımı. Burada is ve dumanın tepedeki bacadan çıkması için hava akımı sağlanmıştır. Fırının yanlarında dört tane soğutma bölümü vardır ve üretilen parçalar buralara konulmaktadır. [Küçükerman (1987), s. 46].

ORTAÇAĞ'DA AVRUPA'DA CAM ÜRETİMİ

Ortaçağ'da Avrupa'da cam yapımının nasıl olduğu konusundaki kaynaklar son derece sınırlıdır. Bilinen en eski kaynak 1023 tarihli bir yazmada bulunan cam fırını resmidir. (Şekil – 8.22). Buradaki cam fırınının üç odalı olduğu, alt odanın fırın, orta odanın potalar içinde camın eritildiği ve üst odanın da üretilen eşyanın soğutulduğu bölüm olduğu görülmektedir.

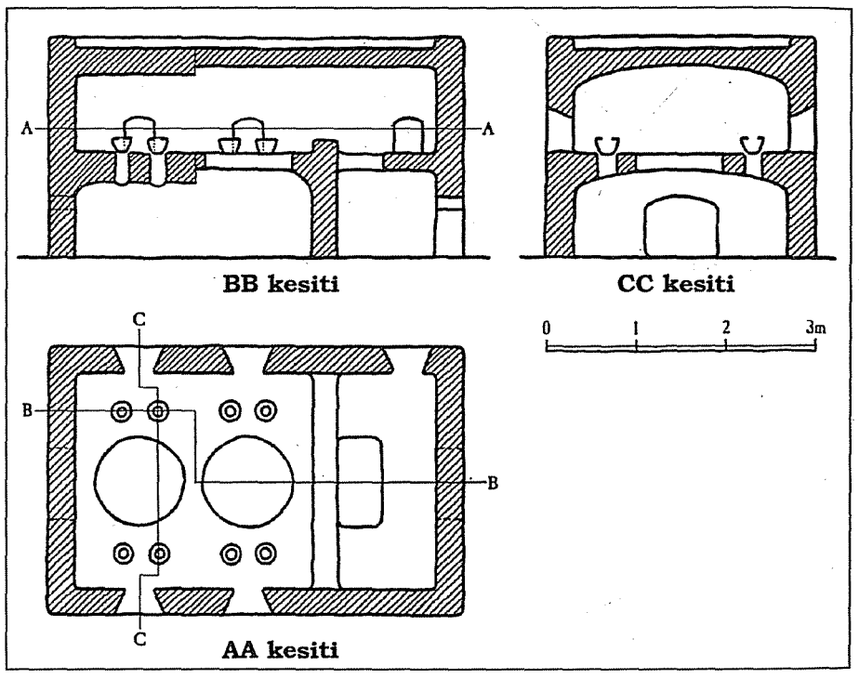


Şekil – 8.22: Rabano Mauro'nun *De Universo De Rerum Naturis* adlı yazma kitabında bir Ortaçağ cam fırınının resmi. (1023). [Monte Cassino Manastırı kitaplığı: Codex 132; Tait, s. 22].

XII. yüzyılda yaşamış olan Bizanslı rahip Theophilus, kilisede kullanılan eşyaların üretimine ilişkin olarak yazdığı *Diversarum Artium Schedula* adlı kitabının önemli bir bölümünü cam ve vitray yapımına ayırmıştır.[2] Bu kitap cam konusundaki en eski yazılı kaynaklardan biridir. Theophilus burada üç bölmeli bir cam fırını tanımlamaktadır. (Şekil –

2 Theophilus, *On Divers Arts*, İngilizceye çevirenler John G. Hawthorne ve Cyryt Stanley Smith, New York 1979, s. 49 – 74.

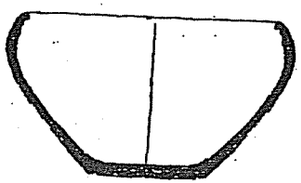
8.23). Fırın dikdörtgen biçiminde olup 3 m eninde ve 4,5 m boyundadır. Ağızları fırının dar yanlarında bulunan biri büyük ve diğeri küçük iki tane ocağı vardır. Fırının duvarları 30 cm kalınlığında olup taş ve kilden yapılmıştır. Fırının üçte ikisini kaplayan büyük ocağın tavanında iki tane büyük alev deliği ile potaların üzerine konulması için sekiz tane küçük delik vardır. Üst odanın yanlarına potaların alınıp konulabilmesi için kare biçiminde dört tane pencere açılmıştır. Fırının üstünün kenarları soğutulmak için üzerine konulan cam eşyanın düşmemesi için üçer parmak yükseltilmiştir. Potalar beyaz çömlekçi kilinden ağızları geniş ve ağız kenarları biraz kapalı ve dibi düz olarak yapılmıştır. (Şekil – 8.24).



Şekil – 8.23: Theophilus'un tanımladığı cam fırınının bu tanıma göre yapılmış olan çizimi. [Theophilus, s. 50].

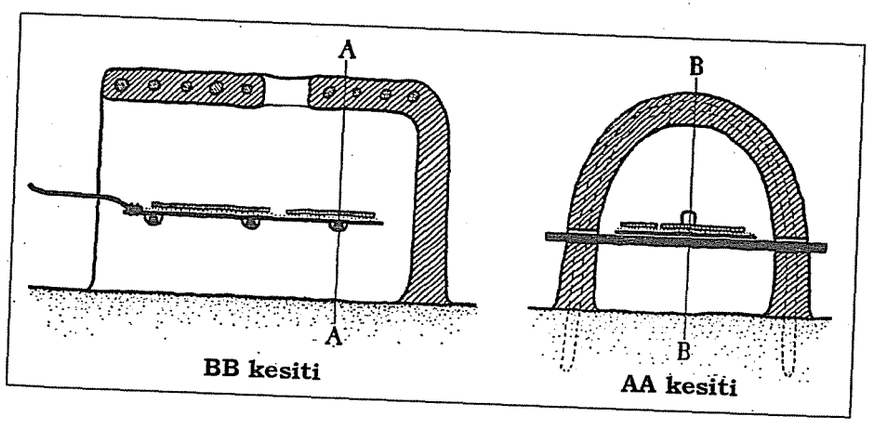
Cam hamuru 3 kısım temizlenmiş kum ile 2 kısım bitki külü (potas) karıştırılarak hazırlanır. Fırının küçük bölümüne konulan hammadde karışımı uzun saplı bir demir kepçe ile karışırılarak erimeden ve topaklanması önlenerek bir gün ve

bir gece boyunca ısıtılır ve ardından aynı kepçe ile öteki bölümdeki potalara konulup sabahtan akşama kadar kuru odun yakılarak eritilir. Theophilus bu fırının yanında bir yüzünde ocak ağzı ve öteki yüzünde de soğutulacak eşyayı koymak için bir penceresi bulunan bir soğutma (tavlama) fırını da tanımlamıştır. Bu fırının boyu 3 m, eni 2,4 m ve yüksekliği de 1,2 m dir.

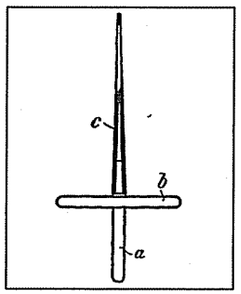


Şekil – 8.24: Cam eritme potasının kesiti. [Theophilus, s. 53].

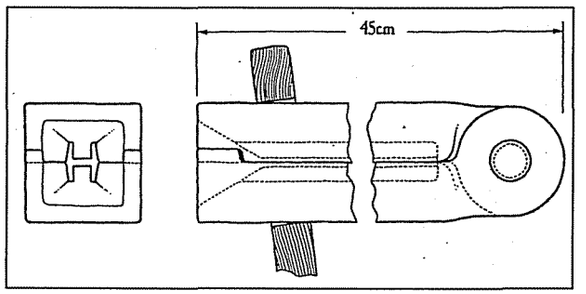
Theophilus safran sarısı ve mor saydam cam yapımı, saydam olmayan renkli camların elde edilmesi, cam levha yapımı, camın işlenerek biçimlendirilmesi, pişmiş toprak kaplar için camsı sırların üretimi, camların pigmentlerle boyanması ve bunun için kullanılan fırınlar (Şekil – 8.25), cam yüzük yapımı (Şekil – 8.26) ve vitray yapımı gibi konularda ayrıntılı bilgiler vermekte ve vitraylar için gerekli kurşun çerçevelerin dökümü için bir demir kalıp tanımla-maktadır. (Şekil – 8.27).



Şekil – 8.25: Cam eşyanın pigmentlerle renklendirilmesi için Theophilus'un tanımladığı ısıtma fırını. Bu fırın 45 cm eninde ve 60 cm boyunda olup tepesinde bir deliği vardır. Yatay olarak konulmuş 1,8 cm çapında üç demir çubuk üzerinde ızıtılacak malzemenin konulacağı bir demir levha vardır. [Theophilus, s 66]



Şekil – 8.26: Cam yüzük yapımı için alet. (Boyu 40 cm). [Theophilus, s. 74].



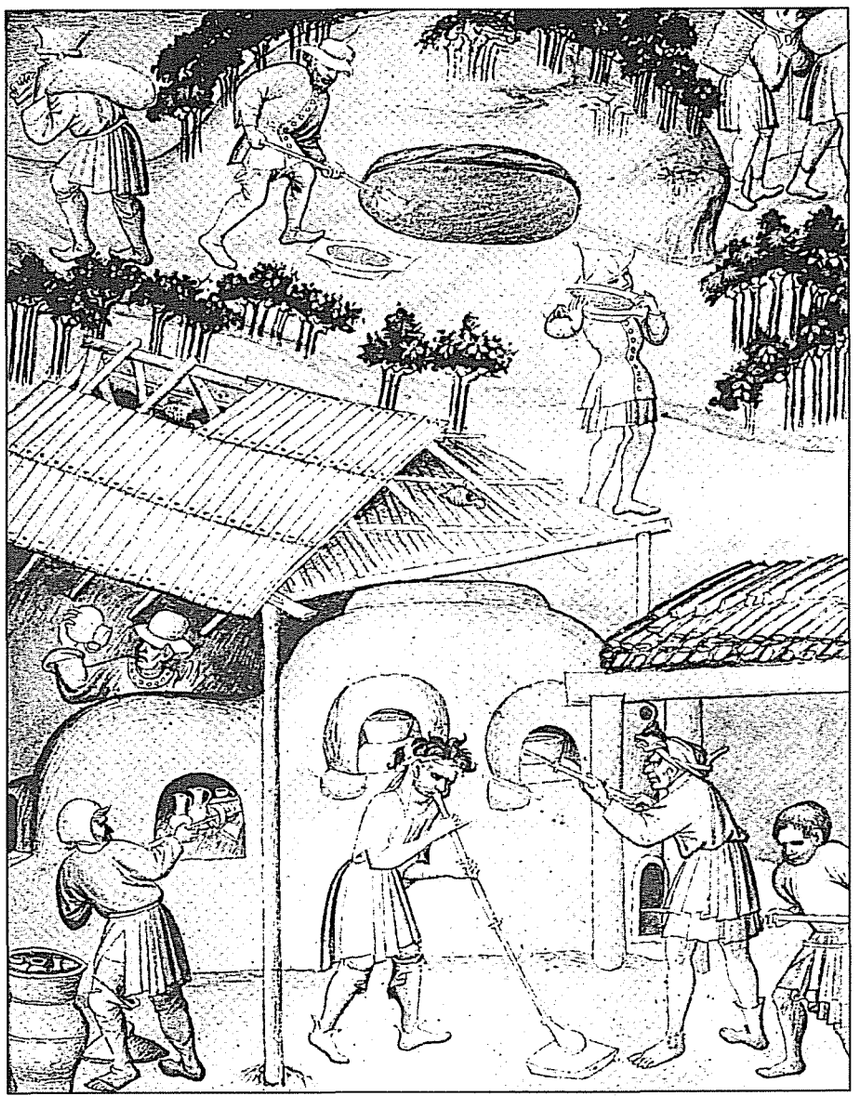
Şekil – 8.27: Kurşun vitray çerçeveelrinin dökümü için demirden yapılmış ve iki parçadan oluşan menteşeli kalıp, (Kesiti 3x3 cm ve boyu 45 cm). [Theophilus, s. 68].

İSLÂM ORTAÇAĞI'NDA CAM ÜRETİMİ

İslâm döneminde IX. yüzyılda Irak'da Samara, Musul, Necef ve Bağdad, Suriye'de Sayda, Sur, Halep, Rakka ve Şam, Mısırda İskenderiye ve Kahire ile bunların dışında İran ve Magrip önemli cam üretim merkezleri olarak ortaya çıkmıştır. XI. yüzyılda Mısırlı ustalar Yunanistan'ın Korint kentinde iki tane cam üretim yeri açmışlarsa da 1147'deki Normanların Ortadoğu'yu istilası Şam ve Halep'deki camcı ustalarının bir bölümünün Batı'ya gitmesine neden olmakla birlikte asıl bilgi aktarımı Haçlılar döneminde olmuştur. Antakya Prensi VII. Bohemond ile Venedik Doju arasında yapılan 1277 tarihli anlaşma ile Suriye camcılığının sırları Venedik'e verilmiştir.

Hammadde olarak odun külü (*al-Kali*), kum veya çakmaktaşı (silis) ve kalsiyum kaynağı olarak deniz kabuklularının kabukları kullanılmıştır. Burada odun külü Ebubekir Râzî'nin (854 – 932) tanımladığı biçimde saflaştırılarak *alkali tuzu* (*milh al-Kali*) biçiminde kullanılmıştır. Elde edilen camların ortalama bileşimi % 65 SiO_2, % 15 Na_2O ve % 9 CaO olup kalan % 11'lik bölümünü magnezyum oksit gibi diğer oksitler oluşturmaktadır. Kumun içerdiği demir nedeniyle cam yeşilimsi bir renk aldığından demiri yükseltgeyerek bu rengi gidermek için mangan dioksit (MnO_2) katılmıştır. Bu yöntem eskiden beri bilinmekle birlikte Câbir bin Hayyan (VIII. yüzyıl) tarafından yeniden düzenlenmiştir.

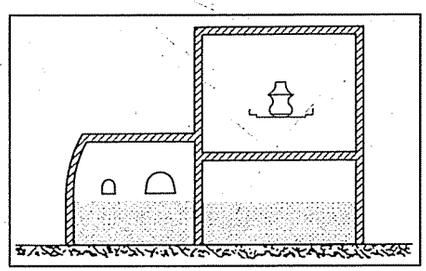
Renkli camlar elde etmek için çeşitli metal oksitler kullanılmıştır.



Şekil – 8.28: XV. yüzyılda bir Felemenk cam imalâthanesi. Arkada açık alanda bulunan hammaddeler fırına taşınıyor. İki odalı esas fırının yanında solda muhtemelen esas fırından çıkan sıcak gazlarla ısınan bir soğutma fırınının olduğu görülmektedir. [Jaschke, s. 41].

Kullanılan büyük fırınlar üç odalı ve kubbeli fırınlardır. Alt oda ocak olup orta odada potalar içinde cam eritilir ve üst odada da soğutma işlemi yapılır. (Şekil – 8.29). Bunun yanında kullanımı günümüze kadar uzanan küçük fırınlar da vardır. (Şekil – 8.30). Hammaddeler bir pota içinde eritilerek gazların çıkması sağlanır. Bu karışım donduktan sonra kırılıp eski cam kırıkları ile karıştırılarak fırının orta bölmesinde potalar içinde yeniden eritilip işlenir. Mozayik ve daha sonraları kalıba üfleme yöntemleri kullanılmıştır. (Şekil – 8.31). İslâm dönemine ilişkin cam örnekleri (Şekil – 8.32, 8.33, 8.34 ve 8.35)'de verilmiştir.

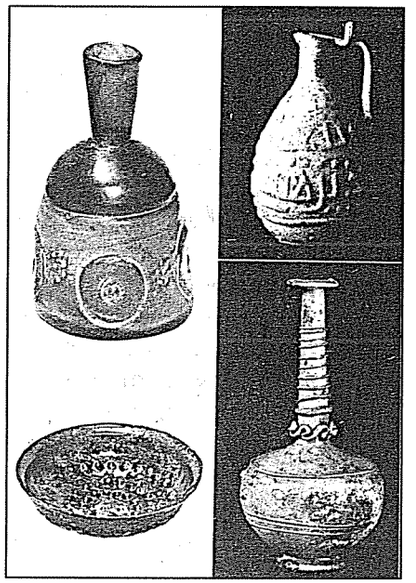
Şekil – 8.29: XVI. yüzyıla ilişkin Arapça bir yazmada üç odalı fırın. [Al-Hassan ve Hill, s. 154].



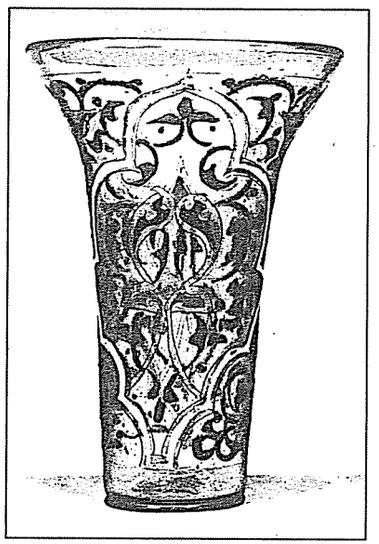
Şekil – 8.30: Halep yakınlarında bir küçük cam fırını. [Al-Hassan ve Hill, s. 155].

Şekil – 8.31: Üfleme cam. (VI. – VIII. yüzyıl, Suriye). [Al-Hassan ve Hill, s. 158].

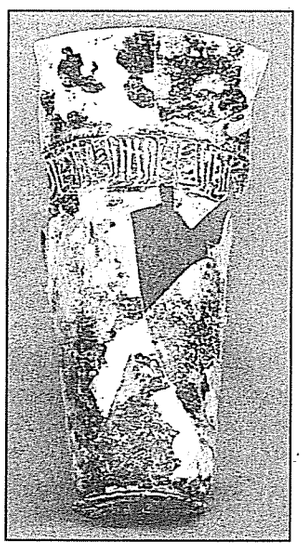
Şekil – 8.32: İslâm camları. (VIII. – XI. yüzyıl). [Haynes, Levha 10].



Şekil – 8.33: İslâm camları. (X. – XIII. yüzyıl). [Haynes, Levha 11].



Şekil – 8.34: Üzeri emaye boyalı bardak. (XIII. yüzyıl, Halep). [Al-Hassan ve Hill, s. 152].



Şekil – 8.35: Samsat'da bulunmuş üzeri emaye boyalı bardak. (XIII. yüzyıl, Anadolu). [Öney, Şekil 84]. .

Kesme yöntemi IX. yüzyılda kullanılmaya başlanmış ve ancak geç ortaçağ'da Batı'ya geçmiştir. Mısır ve Suriye'de XII. – XIV. yüzyıllarda parlak emaye sırlı camlar yapılmıştır. Anadolu Selçukluları döneminde Suriye'den büyük oranda cam eşya ithalâtı yapıldığı gibi Anadolu'da da cam üretilmiştir.

XVI. YÜZYILDA AVRUPA'DA CAM YAPIMI

Vannoccio Biringuccio (1480 – 1539) 1540'da yayınlanan ünlü kitabı *De La Pirotechnia*'da cam yapımından söz ederek iki odalı bir cam fırını tanımlar. Fırının alt odası ocak ve üst odası da içinde cam eritilen potaların bulunduğu bölümdür. Fırının arkasına buna bağlı dikdörtgen biçiminde bir soğutma bölümü eklenmiştir. (Şekil – 8.36). Cam hamurunun hazırlanmasında 1 kısım kum ile 2 veya 3 kısım saflaştırılmış bitki külü [sal alkali] veya 2 kısım kum ile 1 kısım saflaştırılmış bitki külü kullanılır. Burada ilk kez saflaştırılmış alkali kullanımından söz edilmiştir.

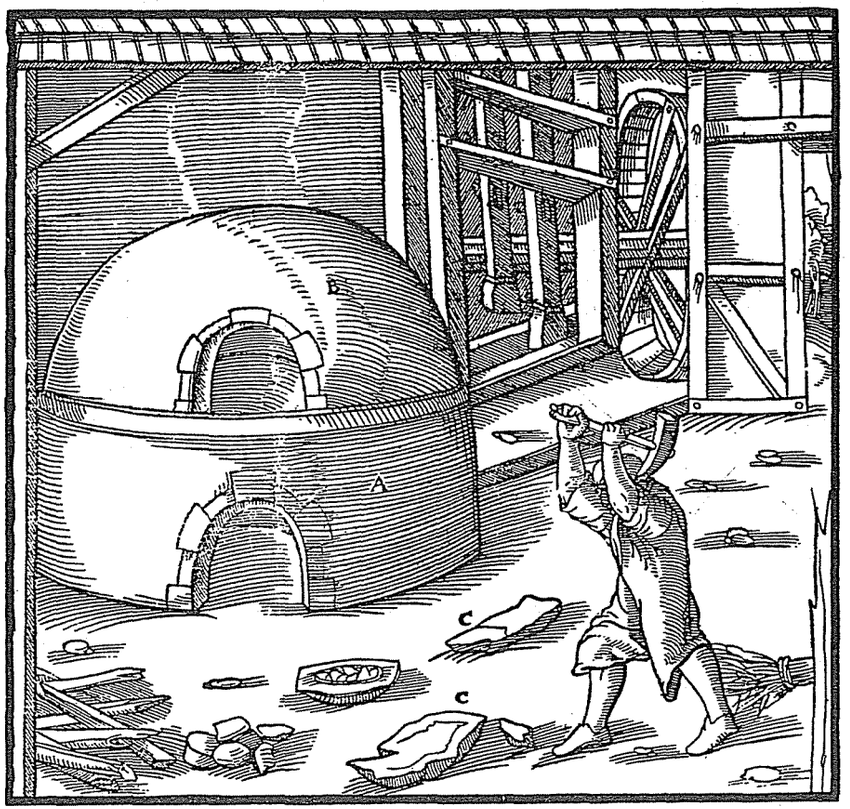
Şekil – 8.36: Biringuccio'nun tanımladığı ve resmini verdiği cam fırını ve cam yapılması. (1540). İki odalı fırının arkasında dikdörtgen biçiminde soğutma bölümü görülmektedir. [Biringuccio, s. 133].

Georgius Agricola (1494 – 1555) ölümünden bir yıl sonra 1556'da yayınlanan *De Re Metallica* adlı eserinde cam yapımını çok ayrıntılı bir biçimde tanımlar.[3] Ona göre, cam bir

3 Georgius Agricola, *De Re Metallica*, İngilizceye çevirenler Herbert Clark Hoover ve Lou Henry Hoover, New York 1950, s. 584 – 592.

"katılaşmış usare"dir ve "kaba veya ince kumdan ateşin gücüyle ve ustalıklı bir sanatla" elde edilir. Venedik'de iki yıl kalmış olan Agricola Murano'daki cam yapım yerlerini de ziyaret etmiştir. Agricola cam yapımını (a) hammaddelerin bir ön eritme ile cama dönüştürülmesi, (b) camın yeniden eritilerek biçimlendirilmesi ve (c) üretilen cam eşyanın soğutulması olmak üzere üç aşamaya ayırır. Bu üç işlem üç ayrı fırında, iki ayrı fırında veya tek bir fırında yapılabilir. İzlenen yola göre çeşitli fırın tipleri kullanılır ve fırınlar ateşte kolayca eriyip dağılmayan bir tür kilden hazırlanıp güneşte kurutulmuş tuğlalardan yapılır. Camın işlenmesinde kullanılan üfleme boruları pirinç, tunç veya demirden yapılmış olup 90 cm boyundadır. Cam hamurunun hazırlanmasında 1 kısım temizlenmiş kum, 2 kısım meşe külü, biraz kaya tuzu ve az miktarda magnes (magnetit) karışımı kullanılır. Cam yapımında bazik bileşen olarak bitki külü gibi saf olmayan alkali karbonatların kullanılması dışık oluşumuna ve kütle içinde gaz kabarcıklarının kalmasına neden olduğundan bir ön eritme işlemine gerek görülmüştür. Agricola, eritme süresinin uzunluğunun camın saydamlığını arttırdığını belirtmektedir. Hammadde olarak eski cam kırıklarının kullanılması durumunda ön eritmeye gerek yoktur.

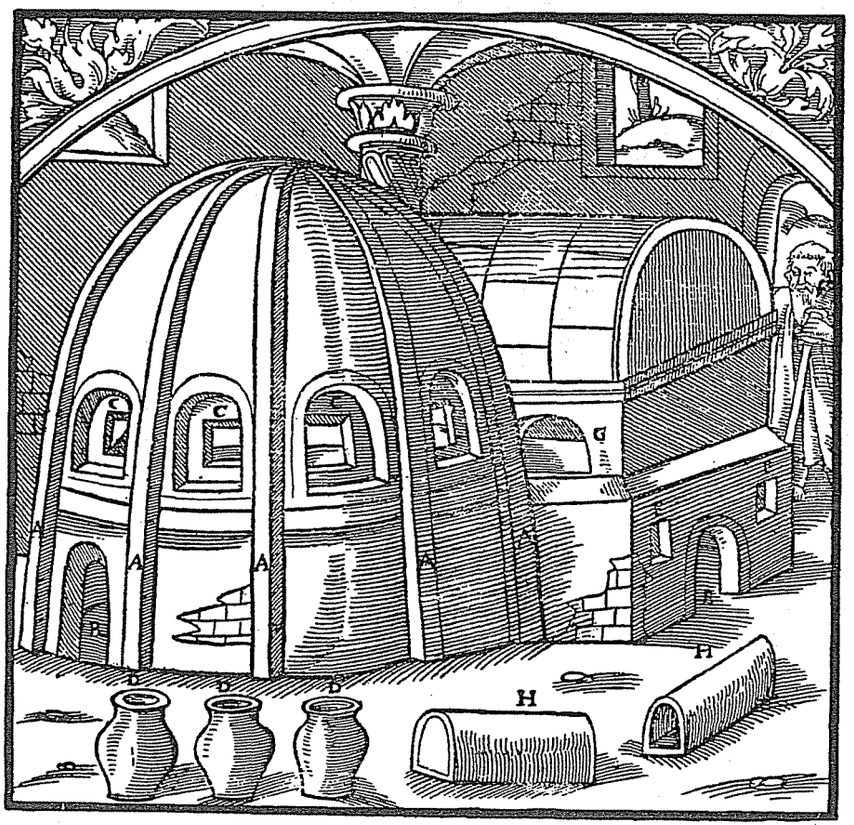
Üç ayrı fırın kullanılması durumunda hammaddeler dairesel ve kubbeli olan iki odalı birinci fırında (ön eritme fırını) eritilir. (Şekil – 8.37). Ele geçen cam kütlesi dışıktan yeterince ayrılmamışsa kırılarak aynı fırında potalar içinde yeniden eritilir. Birinci fırında elde edilen cam kütlesi kırılarak potalara konulur ve ikinci fırında yeniden eritilerek işlenir. Bu ikinci fırın 3 m çapında ve 2,4 m yüksekliğinde kubbeli ve iki odalı bir fırındır. Fırın dıştan kemerlerle sağlamlaştırılmış olup dar bir ocak ağzı vardır. İkinci odanın çevresinde potaların konulup çıkartılması ve işleme için kemerli açıklıklar bulunur. Eritme sırasında bu açıklıklar örülerek kapatılır. Bu fırının arkasında ısının buna bağlı olan üçüncü tavlama fırınına geçmesini sağlamak için dikdörtgen biçiminde bir delik vardır. Birinci ve ikinci fırınların kubbeli olmasına karşılık üçüncü fırın dikdörtgen biçiminde üstü kemerli ve gereğinde odun atılarak ısıtılabilmesi için iki odalı olan bir fırındır. Üst odasının boyu 1,8 m, eni 1,2 m ve yüksekliği de 0,6 m dir. (Şekil – 8.38).



Şekil – 8.37: Ön eritme fırını. A = fırının ateşin yandığı alt odası, B = fırının eritme işleminin yapıldığı üst odası ve C = camsı kütle. [Agricola, s. 587].

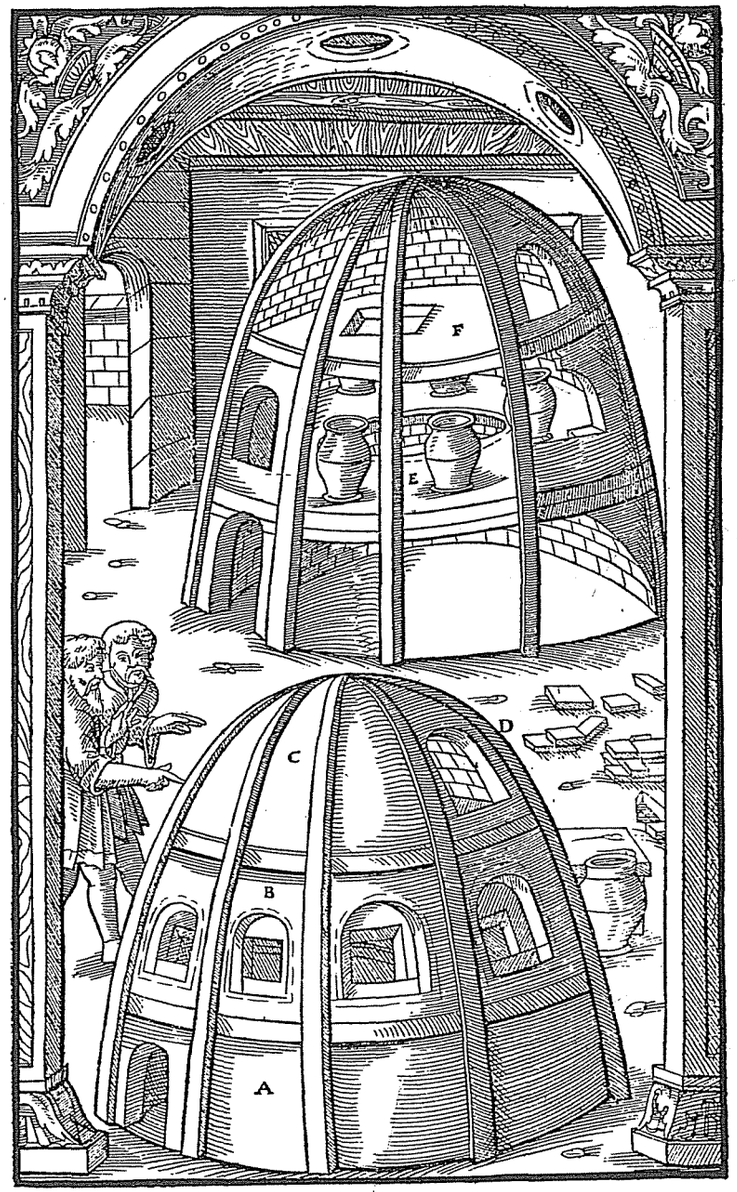
İki fırın kullanılması durumunda ikinci ve üçüncü fırınların işlevleri birleştirilmiştir. İki odalı olan birinci fırında ön eritme ve üç odalı olan ikinci fırında da yeniden eritme, işleme ve soğutma işlemleri yapılır. İkinci fırının iç çapı 2,4 m ve yüksekliği de 4,6 m dir. İkinci fırının alt odası ocak, orta odası camın eritildiği potaların bulunduğu bölüm ve üst odası da soğutma bölümüdür. Ocağın tavanında yuvarlak ve ikinci odanın tavanında da dikdörtgen biçiminde birer delik vardır. Fırında oluşan camın içinde bulunduğu potalar demir kıskaçlarla tutularak ikinci fırına aktarılır veya cam kütlesi donduktan sonra kırılarak potalara konulur ve ikinci fırında yeniden eritilerek işlenir. (Şekil – 8.39). Erimiş cam bir üfleme

borusunun ucuna sardırılarak potadan alınır, üfleyerek veya başka yollarla kapağın önündeki mermer levha üzerinde biçimlendirilir. Elde edilen cam eşya dikdörtgen biçimindeki toprak kaplara yerleştirilerek fırının üst odasında yavaşça soğumaya bırakılır.



Şekil – 8.38: İkinci ve üçüncü fırınlar. A = ikinci fırının kemerleri, B = ikinci fırının alt odasının ağzı, C = ikinci fırının üst odasının pencereleri, D = potalar, E = üçüncü fırının ağzı, F = kovuklar, G = üçüncü fırının üst odasının açıklıkları, H = pişmiş topraktan yapılmış soğutma kapları.

Hammadde olarak özellikle eski cam kırıklarının kullanılması durumunda bir ön eritme işlemine gerek olmadığından bunlar üç odalı tek bir fırında doğrudan potalarda eritilerek işlenir. (Şekil – 8.40).



Şekil – 8.39: Birlikte kullanılan üç odalı iki fırın. A = ikinci fırının alt odası. B = ikinci fırının orta odası, C = üst odası, D = pencere, E = birinci fırının ortasındaki yuvarlak açıklık, F = dikdörtgen açıklık. Fırının iç çapı 2,4 m ve yüksekliği de 3,6 m dir. [Agricola, s. 589].

Şekil – 8.40: Özellikle eski cam kırıklarını işlemek için tek başına da kullanılabilin üç odalı fırın. A = üfleme borusu, B = küçük pencere. C = mermer, D = pensler, E = üretilen eşyanın biçimlendirilmesi için kalıplar. [Agricola, s. 591].

Tüm fırınlarda potalarda eritme sırasında fırının küçük gözlem pencereleri dışındaki kemerli pencereleri tuğla ile örülüp çamurla sıvanır ve cam eriyinceye kadar ısıtılır. Daha sonra bunlar yeniden açılarak diğer işlemlere geçilir.

Şekil – 8.41: XVI. yüzyılda seyyar cam eşya satıcısı. [Jaschke, s. 62].

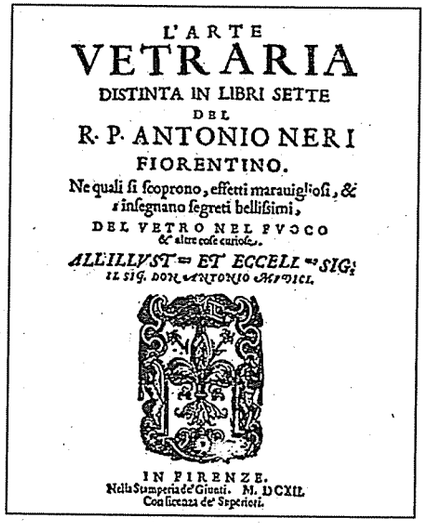
XVI. VE XVII. YÜZYILLARDAKİ GELİŞMELER

Camcılık konusundaki kitaplar

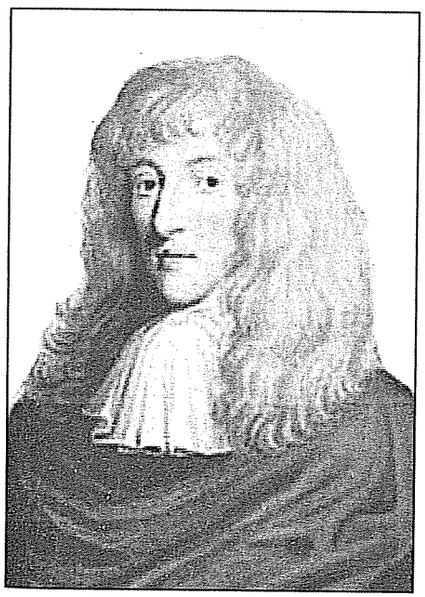
Sadece cam yapımını ele alan ilk kitap Antonio Neri'nin (1576 – 1614) 1612'de Floransa'da yayınlanan *De Arte Vetraria* [Camcılık Sanatı Üzerine] adlı kitabıdır. (Şekil – 8.42 ve 8.43). Bir Florentin rahibi olan Neri, İtalya (Floransa ve Venedik) ve Felemenk'deki (Antwerp) cam imalâthanelerini gezmiş ve gözlemlerine kendi buluşlarını da ekleyerek kitabını yazmıştır.

Neri'nin kitabı 1662'de Christopher Meret (1614/15 – 1695) taarfından *The Art of Glassmaking* [Cam Yapma Sanatı] adı altında İngilizce'ye çevrilerek ekler ve tahtaoyma resimlerle yayınlanmıştır. (Şekil – 8.44 ve 8.45). Bundan sonra camcılık konusundaki kitapların sayısı giderek artmaya başlamıştır.

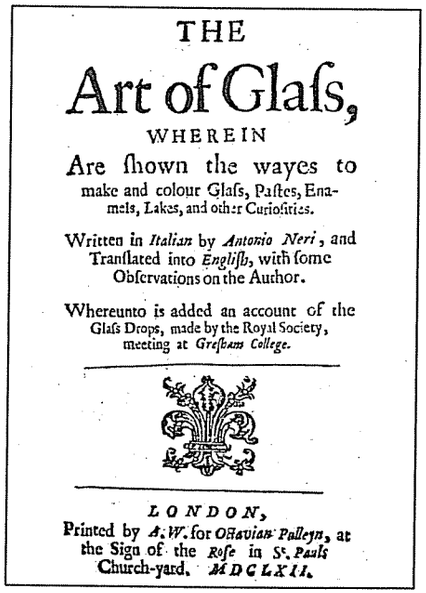
Şekil – 8.42:. Antonio Neri (1576 – 1614) için yapılmış temsili bir madalyon.


L'ARTE
VETRARIA
DISTINTA IN LIBRI SETTE
DEL
R. P. ANTONIO NERI
FIORENTINO.
Ne quali si scoprono, effetti marauigliosi, & s'insegnano segreti bellissimi,
DEL VETRO NEL FVOCO
& altre cose curiose.
ALL'ILLVST^mo ET ECCELL^mo SIG^r
IL SIG. DON ANTONIO MEDICI.
IN FIRENZE.
Nella Stamperia de' Giunti. M. DCXII.
Con licenza de' Superiori.

Şekil – 8.43: Neri'nin *De Arte Vetraria* [Camcılık Sanatı Üzerine] adlı kitabının kapağı.



Şekil – 8.44: Christopher Meret. (1614/15 – 1695).


THE
Art of Glaſs,
WHEREIN
Are ſhown the wayes to
make and colour Glaſs, Paſtes, Enamels, Lakes, and other Curioſities.
Written in *Italian* by *Antonio Neri*, and Tranſlated into *Engliſh*, with ſome Obſervations on the Author.
Whereunto is added an account of the Glaſs Drops, made by the Royal Society, meeting at *Greſham College*.
LONDON,
Printed by *A. W.* for *Octavian Pulleyn*, at the Sign of the *Roſe* in S^t. *Pauls* Church-yard. *MDCLXII.*

Şekil – 8.45: *The Art of Glassmaking* adlı kitabın kapağı.

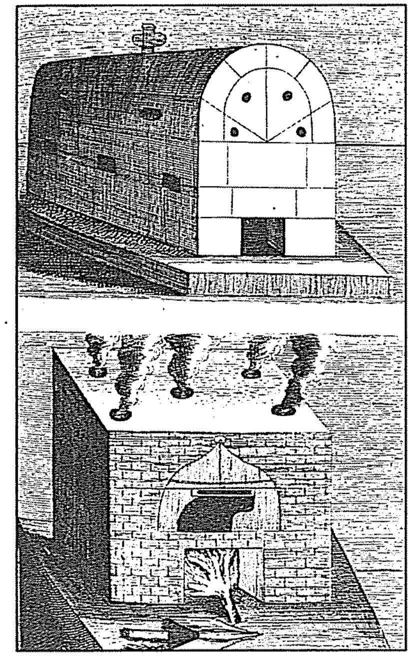
Alman elkimyacı Johann Kunckel'in (1630 – 1703) en önemli eseri olan *Laboratorium Chymicum* ölümünden sonra 1716'da yayınlandı. (Şekil – 8.46). Bağımsız olarak fosforu keşfetti, altın ile yakut renkli [ruby] camın yapımını tanımladı ve 1679'da cam yapımı konusunda Antonio Neri'nin 1612'de yayınladığı *L'Arte Vetraria* adlı kitabını temel alarak yazdığı *Ars Vitraria Experimentalis* adlı kitabını Almanca ve bol resimli olarak yayınladı. (Şekil – 8.47, 8.48, 8.49, 8.50 ve 8.51). Fransız Baron [Paul Henri Thiry] d'Holbach (1723 – 1789) bu üç kitabın bir sentezini yaparak 1752'de Paris'de *Art de la Verrerie* adı altında yayınlamıştır. (Şekil – 8.52 ve 8.53).

Alman elkimyacı Johann Joachim Becher (1635 – 1682) Bohemya'daki cam yapımını incelemiş ve 1673'de yayınlanan *Politische Discurs* adlı kitabında (Cilt 2/Bölüm 9) cam konusunda ayrıntılı bilgi vermiştir. (Şekil – 8.54 ve 8.55). Burada hammaddelerin kaliteyi belirlediğini ve gerçek cam ile değerli taşların taklitleri arasındaki farkı belirtmiştir. 1675'de Viyana yakınında bir imalâthane kurarak Venedik camcılığını sürdürmüştür.

Şekil – 8.46: Johann Kunckel. (1630 – 1703).

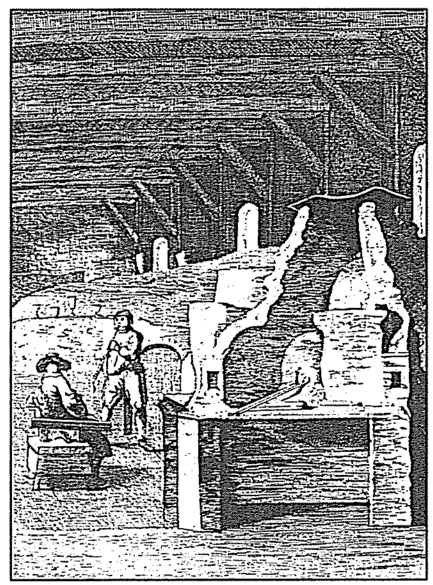
JOHANNIS KUNCKELII,
Churfürstl. Brandenb. würcklich bestallt-geheimden Cammer-Dieners,
ARS VITRARIA
EXPERIMENTALIS,
Oder vollkommene
Glasmacher-Kunst/
lehrende/
Als in einem, aus unbetrüglicher Erfahrung, herfliessendem Commentario, über die von dergleichen Arbeit beschriebene sieben Bücher P. Anthonii Neri, von Florentz, und denen darüber gethanen gelehrten Anmerckungen Christophori Merretti, M. D. & Societ. Reg. Britann. Socii,
Die allerkurtz-bündigsten Manieren, das reineste Chrystall-Glas;
Samt einem II. Haupt-Theil.
Nürnberg, 1743.

Şekil – 8.47: Johann Kunckel'in *Ars Vitraria Experimentalis* adlı kitabının kapağı.

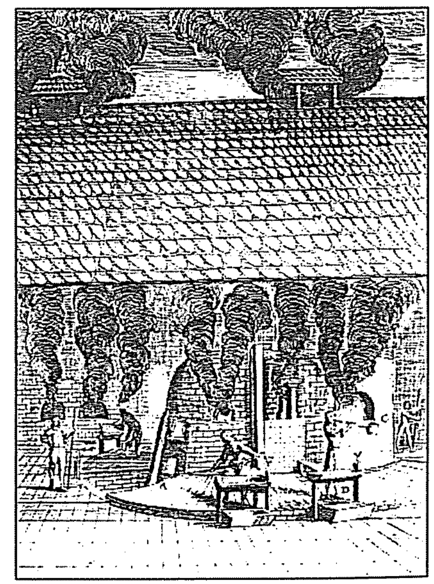


Şekil – 8.48: Kunckel'e göre potas elde edilmesi.

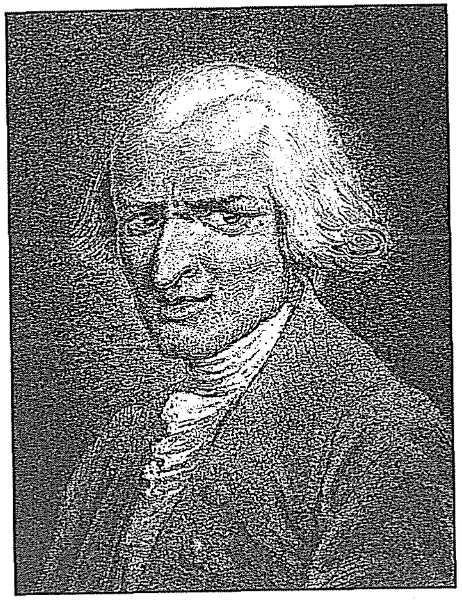
Şekil – 8.49: Kunckel'e göre iki odalı bir cam fırını.



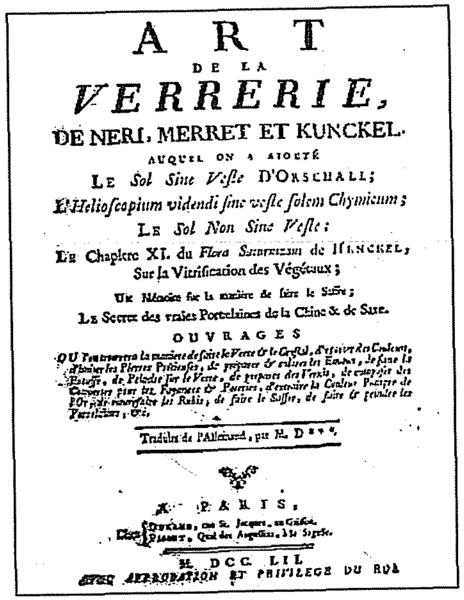
Şekil – 8.50: Kunckel'e göre Amsterdam'da bir cam imalâthanesi.



Şekil – 8.51: Kunckel'e göre bir cam imalâthanesi.



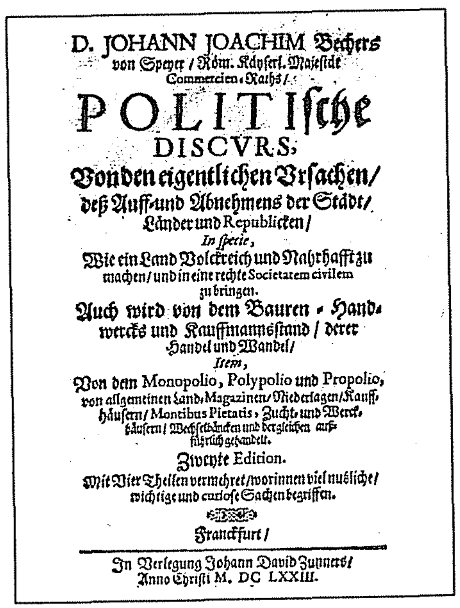
Şekil – 8.52: Baron d'Holbach. (1723 – 1789).



ART
DE LA
VERRERIE,
DE NERI, MERRET ET KUNCKEL.
AUQUEL ON A AJOUTÉ
LE Sol Sine Veste D'ORSCHALL;
L'Helioscopium videndi sine veste solem Chymicum;
LE Sol Non Sine Veste;
LE Chapitre XI. du Flora Saturnizans de HENCKEL,
Sur la Vitrification des Végétaux;
Un Mémoire sur la maniére de faire le Saffre;
LE Secret des vraies Porcelaines de la Chine & de Saxe.
OUVRAGES
OU l'on trouvera la maniére de faire le Verre & le Crystal, d'extraire les Couleurs, d'imiter les Pierres Précieuses, de préparer & colorer les Emaux, de faire la Potasse, de Peindre sur le Verre, de préparer des Vernis, de composer des Couvertes pour les Fayences & Poteries, d'extraire la Couleur Pourpre de l'Or, de contrefaire les Rubis, de faire le Saffre, de faire & peindre les Porcelaines, &c.
Traduits de l'Allemand, par M. D***.
A PARIS,
Chez Durand, rue St. Jacques, au Griffon. Pissot, Quai des Augustins, à la Sagesse.
M. DCC. LII.
AVEC APPROBATION ET PRIVILEGE DU ROI.

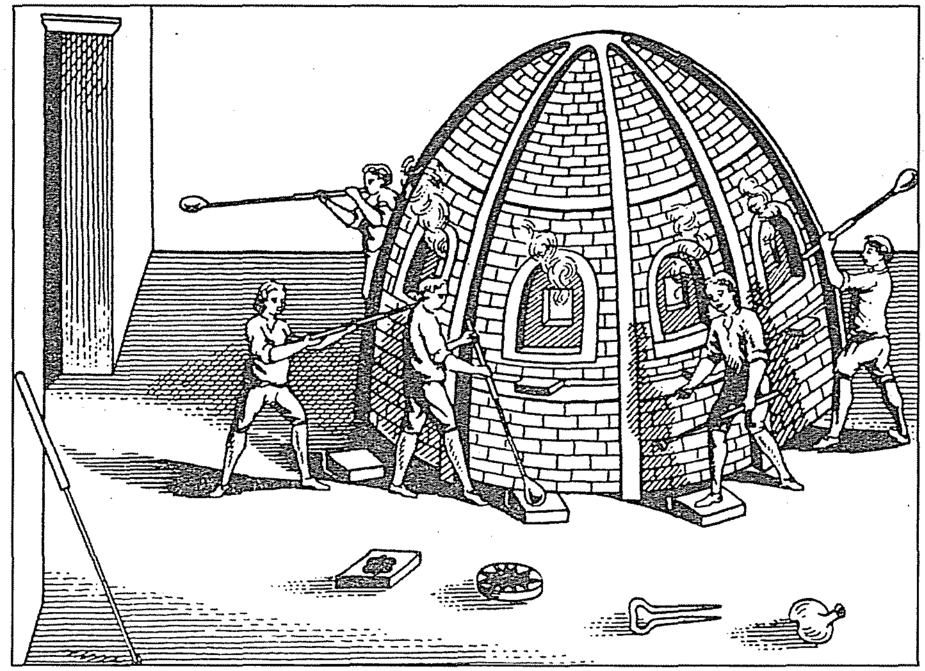
Şekil – 8.53: Baron d'Holbach'ın *Art de la Verrerie* adlı kitabının kapağı.

Şekil – 8.54: Johann Joachim Becher. (1635 – 1682).



D. JOHANN JOACHIM Bechers
von Speyer / Röm. Käyserl. Majestät
Commercien-Raths /
POLITIsche
DISCURS,
Von den eigentlichen Ursachen /
deß Auff- und Abnehmens der Städt /
Länder und Republicken /
In specie,
Wie ein Land Volckreich und Nahrhafft zu
machen / und in eine rechte Societatem civilem
zu bringen.
Auch wird von dem Bauren- Hand-
wercks und Kauffmannsstand / derer
Handel und Wandel /
Item,
Von dem Monopolio, Polypolio und Propolio,
von allgemeinen Land-Magazinen / Niederlagen / Kauff-
häusern / Montibus Pietatis, Zucht- und Werck-
häusern / Wechselbäncken und dergleichen auß-
führlich gehandelt.
Zweyte Edition.
Mit Vier Theilen vermehret / worinnen viel nützliche /
wichtige und curiose Sachen begriffen.
Franckfurt /
In Verlegung Johann David Zunners /
Anno Christi M. DC LXXIII.

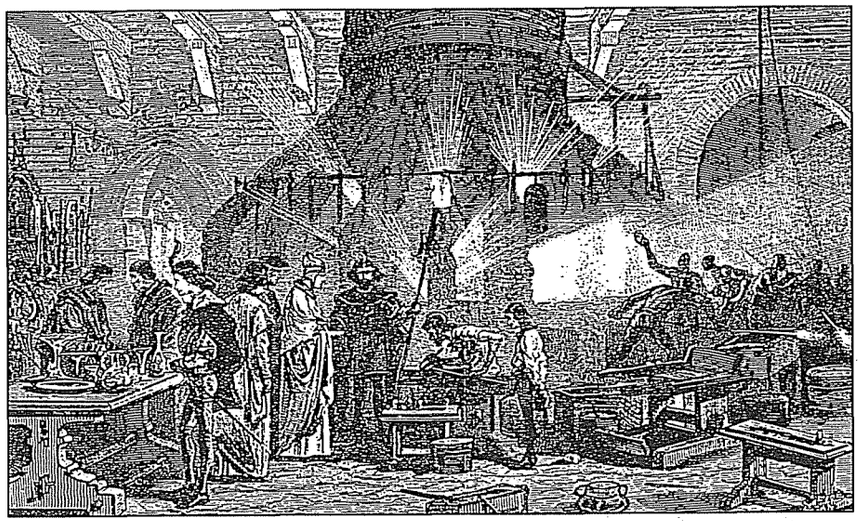
Şekil – 8.55: Becher'in *Politische Discurs* adlı kitabının kapağı



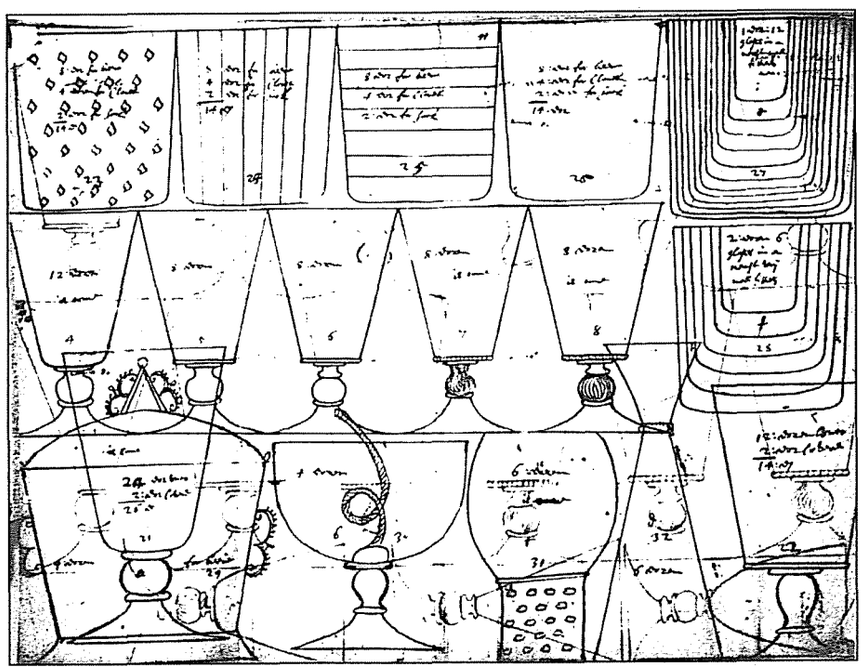
Şekil – 8.56: Alman cam fırını. (1752). Agricola'dan ikiyüz yıl sonrasına ilişkin olan bu resim aradan geçen süre içinde cam fırınlarında bir değişikliğin ortaya çıkmadığını göstermektedir. [Derry ve Williams, s. 111].

Venedik camcılığı

XIII. yüzyılda İtalya'da Venedik önemli bir camcılık merkezi haline gelmiştir. Buranın yanında Pisa ve Floransa kentlerinde de cam fırınları vardır. Venedik'deki cam imalâthaneleri sık sık yangınlara neden olduklarından 1292'de topluca Murano Adası'na taşınmış ve bundan sonra cam adı ile Murano adı özdeşleşmiştir. (Şekil – 8.57). Venedik özellikle XVII. yüzyıldan itibaren Avrupa'nın hemen tüm ülkelerine ve Osmanlı İmparatorluğu'na cam ihraç eden bir merkez durumuna gelmiştir. Venedik'de üretilen cam eşya çeşitli ülkelere pazarlandığı gibi talep üzerine istenilen biçimde ısmarlama üretim de yapılmaktadır. Örneğin Londra'lı tüccar John Greene'in Venedik'deki cam üreticisi Allesio Morelli'ye 1667 – 1672 yılları arasında yazmış olduğu çok sayıda sipariş mektubu günümüze ulaşmıştır. (Şekil – 8.58).



Şekil – 8.57: Venedik Doju'nun Murano Adası'ndaki cam imalâthanelerini ziyareti. [Jaschke, s. 34].

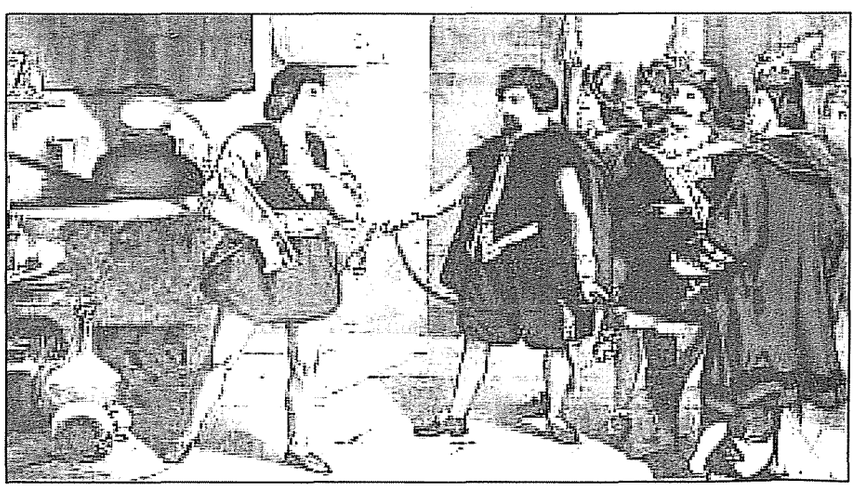


Şekil – 8.58: Londra'lı tüccar John Greene'in Venedik'de cam üreticisi Allesio Morelli'ye yazdığı sipariş mektuplarından biri. [Tait, s. 48]

Renkli camların elde edilmesi[4]

Cam yapım sanatı tarih öncesi dönemlere kadar geriye gitmekle birlikte aradan geçen zaman içinde birçok buluş unutulmuş veya kaybolmuştur. XVI. ve XVII. yüzyıllarda cam yapımına önemli katkılar yapılmamış olmakla birlikte geçmiş dönemlerde kaybolmuş olan bazı eski buluşlar yeniden keşfedilmiştir. Bu dönemde yapılan yeni buluşların hepsi renkli camların ve suni değerli taşların yapımına yöneliktir. Bu buluşları yapanların çoğu buluşlarını sır olarak saklamışlardır.

Bu buluşların ilklerinden biri Bohemya'da cam ustası olan Neudeck'li Christoph Schürer (1500 – 1560) tarafından 1540'da kobalt mavisi renginde cam yapım yönteminin bulunmasıdır. (Şekil – 8.59). Anlaşıldığı kadarıyla Schürer bizmutun cevherden çıkartılmasından sonra geriye kalan kalıntıları cam ile birlikte eriterek mavi rengi elde etmiştir. Öteki buluşların hepsi kırmızı veya yakut rengi cam ve suni taşlar yapılmasına ilişkindir. Alman elkimyacı Andreas Libavius (1550 – 1616) 1597'de altın ve demirin (?) cama katılarak yakut rengi cam yapılabileceğini ortaya koymuştur.



Şekil – 8.59: Mavi kobalt camını bulan Christoph Schürer. (1500 – 1560).

4 A. Wolf, *A History of Science, Technology and Philosophy in the 16th and 17th Centuries*, 2nd ed., New York 1959, Cilt 2, s. 504 – 505.

Johann Rudolph Glauber (1604 – 1670) (Şekil – 8.60) rastlantı sonucunda yaptığı bir buluşu 1651'de basılan *Furni Novi Philosophici* [Yeni Felsefi Fırınlar] adlı kitabında yayınladı. Altın kirecini (calx, altın oksit) erimesine yardımcı olması için biraz eritici tuz (saline flux) katarak bir potada eritti. Potayı fırından çıkartınca bir miktar güzel kırmızı cam içerdiğini gözledi. Kattığı eritici tuzun beyaz olması nedeniyle rengin altından kaynaklandığını düşündü. Daha sonra altını "aqua regia" [kral suyu, 3 kısım HCl ile 1 kısım HNO_3] karışımında çözüp bunun üzerine kum veya toz edilmiş çakmaktaşının potas aşırısında eritilmesiyle elde edilen potasyum silikatın çözeltisi olan "çakmaktaşı çözeltisi" katarak elde ettiği çökeltiyi eritip uygun bir cam renklendirme yöntemi geliştirdi. Bu yöntemin renkli cam veya suni taşların yapımında kullanılan başka metaller için de uygulanabileceğini belirtti. Daha önce 1612'de Antonio Neri de altının aqua regia'da çözülüp camı renklendirmek için kullanılabileceğini önermişti.

İngiliz kimyacı ve fizikçi Robert Boyle (1627 – 1691) (Şekil – 8.61) 1684'de yayınlanan *Experiments and Consi-derations About the Porosity of Bodies* adlı kitabında renkli camlarda renklendiren maddenin bazen camın tümüne nüfuz ettiğini ve bazen de sadece yüzeyde bulunduğunu belirtir. Boyle, 1666'daki Büyük Londra Yangını sırasında tahrib olan St. Paul Katedrali'nin pencerelerinden geriye kalan renkli camları inceleyerek rengin sadece yüzeyde olduğunu saptadı. Camın tümünün kırmızı olarak renklenmesi olanağını düşündü. Bir gün altın amalgamını damıtırken kullandığı cam kabın bu bölümünün altın rengine döndüğünü gözledi, kap kırılıp parçalanıncaya kadar damıtmayı sürdürdü ve camın tümünün güzel kırmızı bir renk aldığını gördü. Bu rengi "gerçekten o kadar güzel ve görkemli bir kırmızı renge sahipti ki benim gördüğüm birçok yakutun kendileri ondan daha niteliksizdi" diyerek tanımladı.[5] Johann Kunckel de aynı buluşu bağımsız olarak hemen hemen aynı zamanda yapmıştır.

5 "In fact it had so fine and glorious a red colour, that I have seen several rubies themselves inferior."

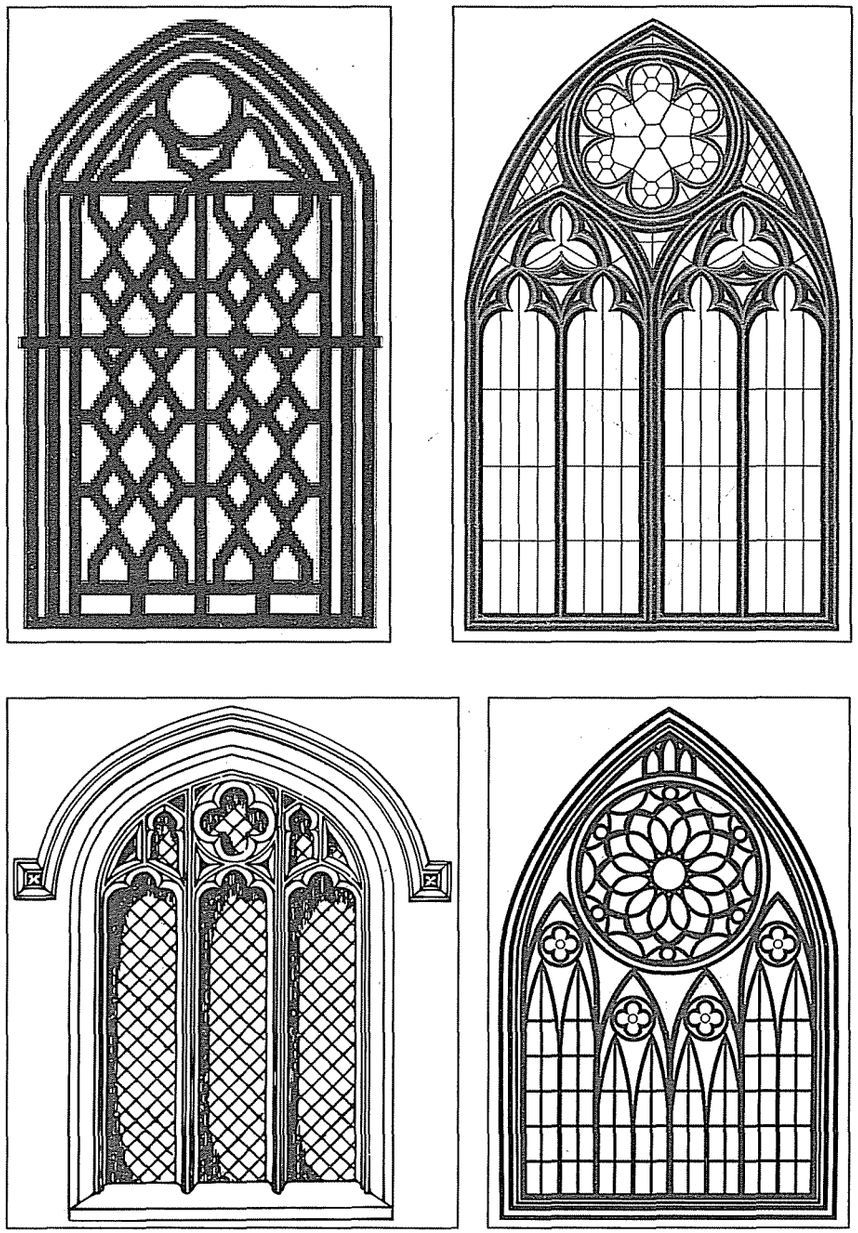
Şekil – 8.60: Johann Rudolph Glauber. (1604 – 1670).

Şekil – 8.61: Robert Boyle. (1627 – 1691).

DÜZ PENCERE CAMLARININ YAPILMASI

Vitray tekniği

Başlangıçta elde edilen camlar saydam olmamakla birlikte camların saydamlığı zaman içinde giderek artmıştır. Yarı saydam bir cam eşya göze güzel görünmediğinden ya içine bazı metal oksitler katılarak renklendirilmiş ya da bütünüyle opak duruma getirilerek beyaz renk verilmiştir. Pencerelere koymak için yeterli saydamlıkta ve yeterli büyüklükte düz cam üretilemediğinden vitray tekniği ortaya çıkmıştır. Bu yöntem çok pahalı olduğundan ancak büyük dinsel ve kamusal binaların pencerelerinde vitray kullanılmıştır. Vitray pencereler renkli küçük cam parçalarının alçı veya kurşundan yapılmış bir ızgara içine yerleştirilmesiyle oluşturulur. (Şekil – 8.62). Zamanla bu iş bir sanat haline gelmiş ve bu şekilde resimler yapılmıştır. Bu dönemde sıradan insanların evlerinin pencereleri kışın tahta kepenklerle ve yazın da yağlı kâğıtlarla kapatılmakta olup pencerelerin boyutları da küçüktür. (Şekil – 8.63).



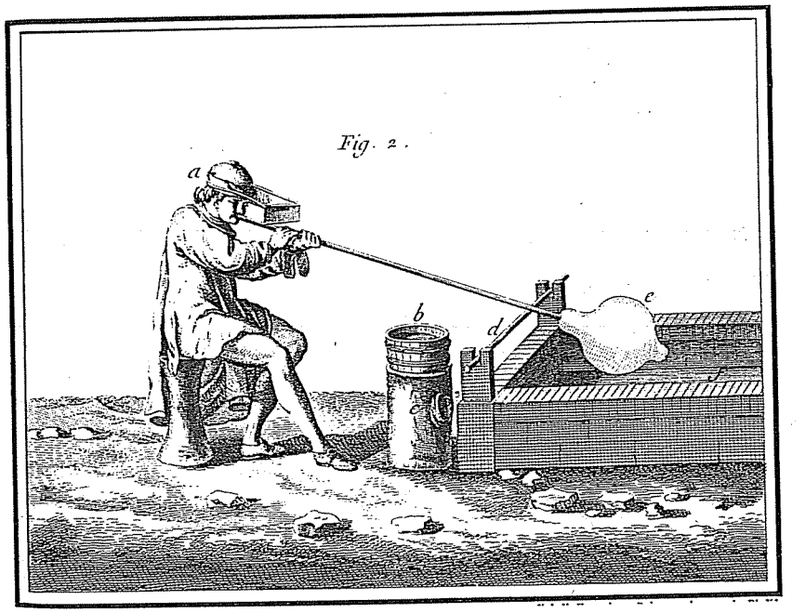
Şekil – 8.62: Vitray tekniği ile yapılmış geometrik desenli pencere örnekleri.

Şekil – 8.63: Ortaçağ dönemine ilişkin küçük pencereli bir ev.

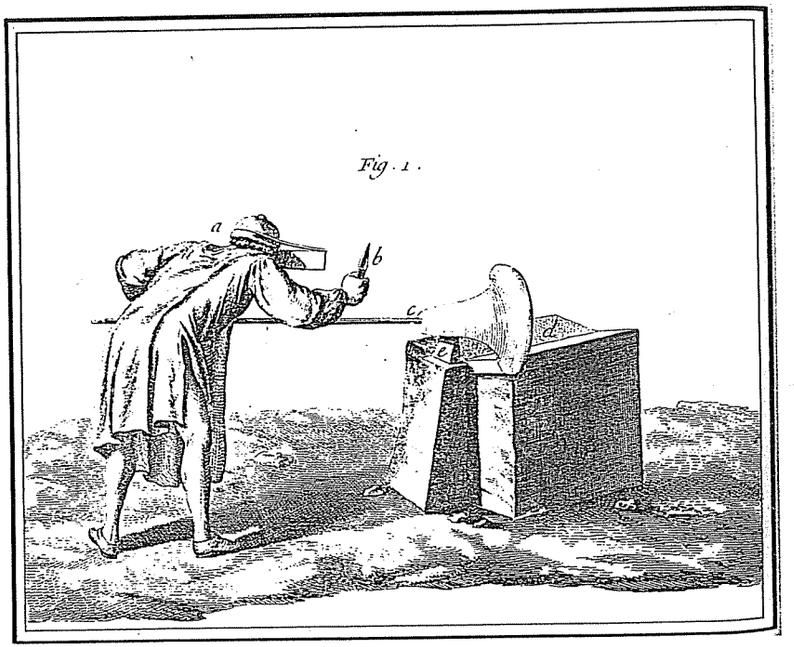
Düz pencere camı üretimi

Cam levhaların üretimi için geliştirilen yöntem bir üfleme borusunun ucuna alınan erimiş camın şişirilerek büyük bir balon haline getirilmesi ve daha sonra bu balonun dibinin kesilip kalan kısmının düz bir metal levha üzerine bastırılarak düzleştirilmesine dayanır. Bu yolla elde edilen cama *crown camı* adı verilir. Bu yöntemle en çok 120 cm çapında ve ortasında üfleme borusundan kaynaklanan ve *boğa gözü* adı verilen bir çıkıntı bulunan bir cam levha elde edilir. Bu yöntemle cam levha elde edilmesi (Şekil – 8.64, 8.65, 8.66, 8.67, 8.68, 8.69 ve 8.70)'de verilmiştir. Elde edilen cam levha daha sonra dikdörtgen parçalar halinde kesilir. Bu yöntem pahalı, artığı fazla ve küçük cam levhaların üretimine izin veren bir yöntemdir.

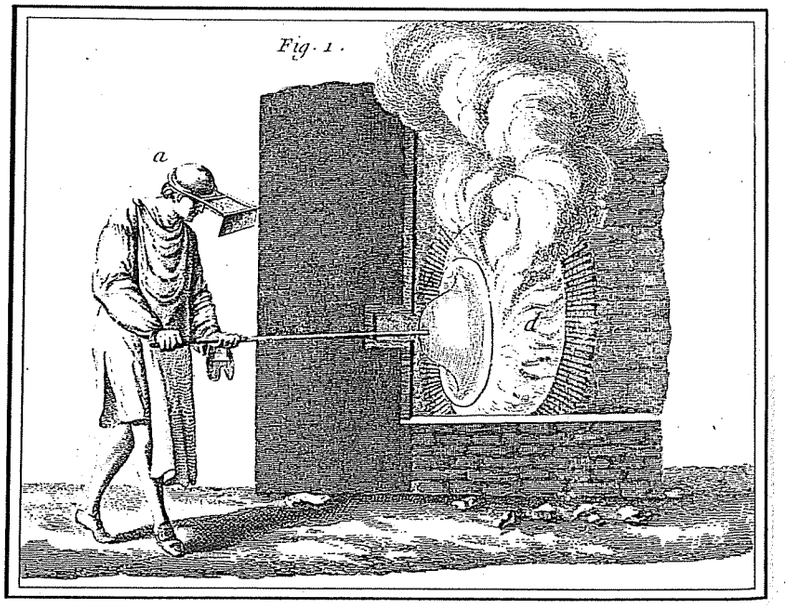
Üfleme yoluyla cam lavha elde edilmesinin başka bir uygulanışında üflenerek camdan bir silindir yapıldıktan sonra bu silindir boylamasına kesilerek bir metal levha üzerine açılır ve gerekirse üzerine bastırılarak düzeltilir. (Şekil – 8.71, 8.72, 8.73 ve 8.74). Bu yollarla elde edilen camların yüzeyleri düzgün olmadığından bunlardan ayna yapmak için yüzeylerinin düzeltilerek parltılması gerekir.



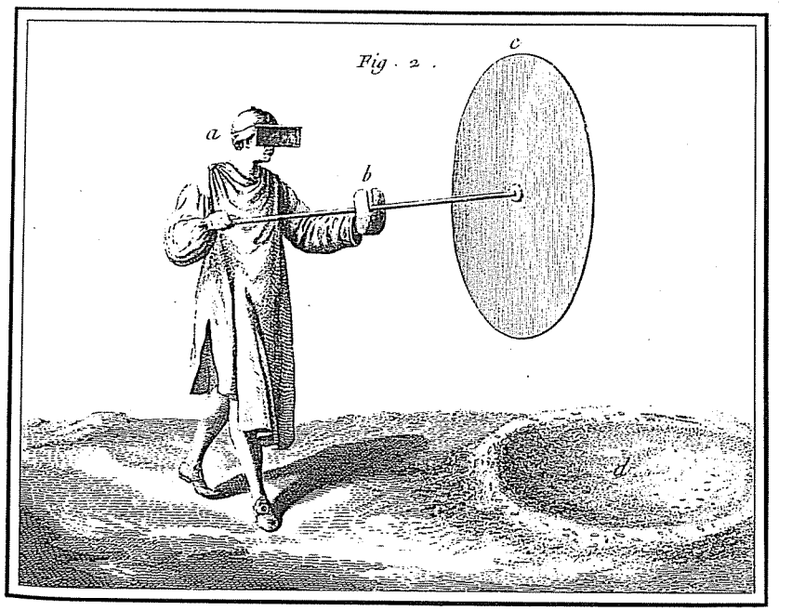
Şekil – 8.64: Crown camı üretimi (I). [Diderot, II, Levha 241].



Şekil – 8.65: Crown camı üretimi (II). [Diderot, II, Levha 243].

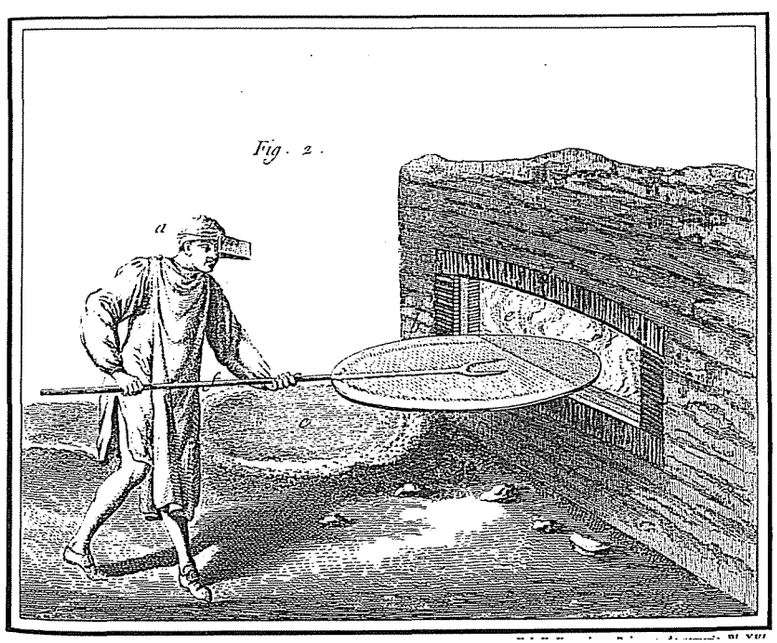


Şekil – 8.66: Crown camı üretimi (III). [Diderot, II, Levha 245].

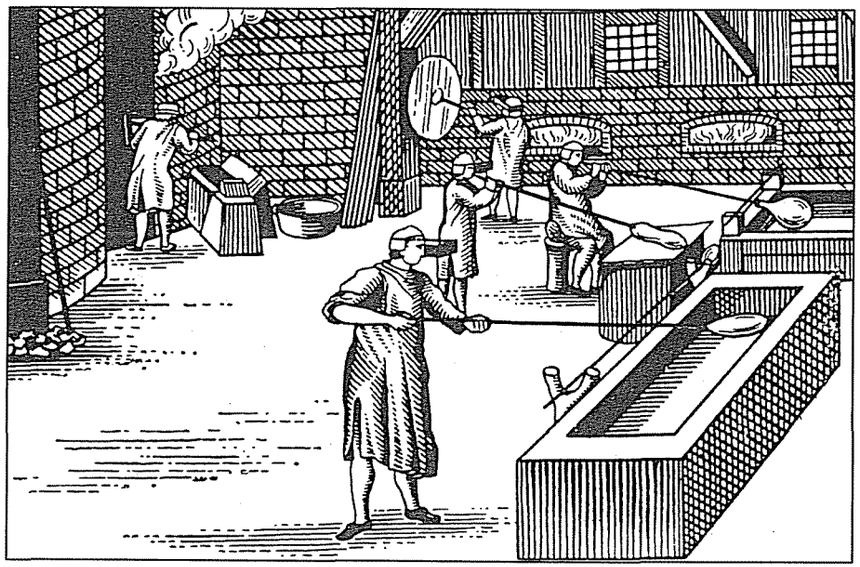


Şekil – 8.67: Crown camı üretimi (IV). [Diderot, II, Levha 245].

Şekil – 8.68: Crown camı üretimi (V). [Diderot, II, Levha 246].

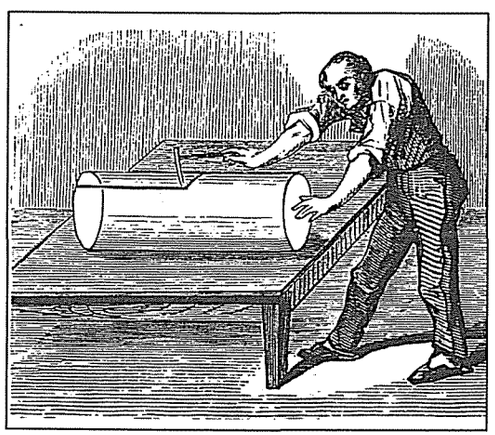


Şekil – 8.69: Crown camı üretimi (VI). [Diderot, II, Levha 246].

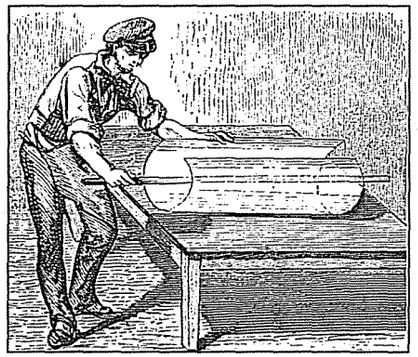


Şekil – 8.70: Crown camı yapılan bir işyerinin görünümü. (1800). [Derry ve Williams, s. 594].

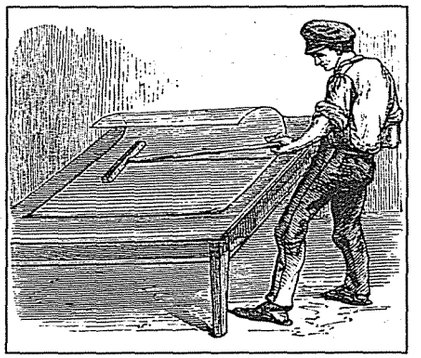
Şekil – 8.71: Üfleme yoluyla silindir biçiminde bir boru elde edilmesi. [Figuier, s. 127].



Şekil – 8.72: Silindir biçimindeki borunun boyuna kesilmesi. [Figuier, s. 127].



Şekil – 8.73: Boyuna kesilen silindirin düz bir yüzey üzerine açılması. Figuier, s. 127].



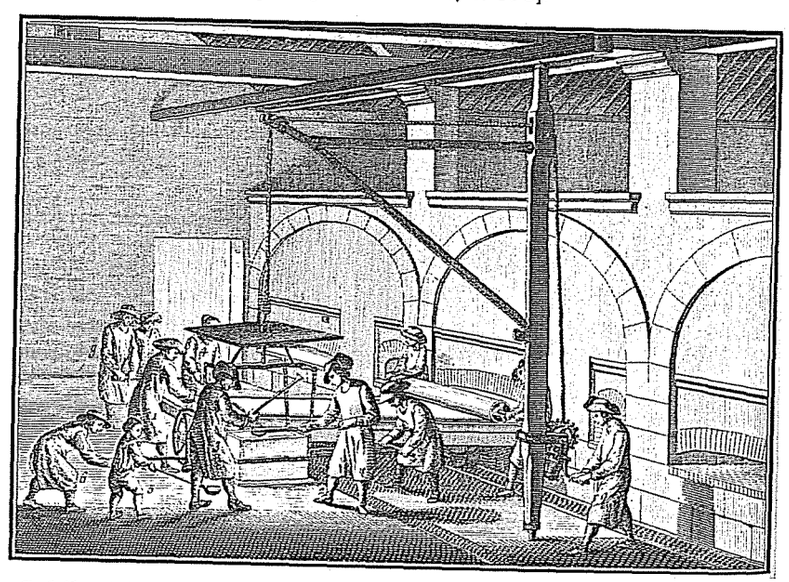
Şekil – 8.74: Düz yüzey üzerine açılan lavhanın düzeltilmesi. Figuier, s. 127].

Döküm yöntemi ile cam levha elde edilmesi

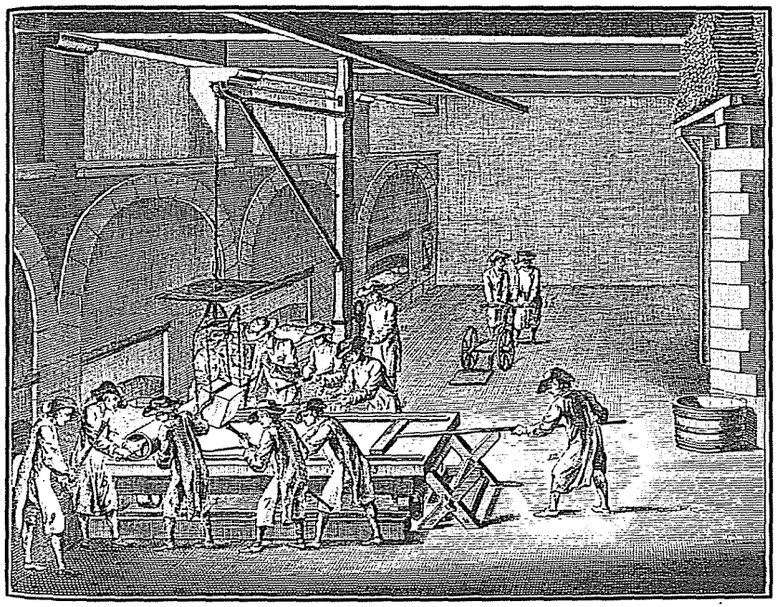
Cam levha üretimi için daha sonra hangi tarihte ve kimin tarafından bulunduğu kesin olarak bilinmeyen döküm yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntemin bulucusunun cam levha üretimi konusunda bir patent aldığı bilinen Orléans Kraliyet Camhanesi'nde [Verrerie Royale d' Orléans] çalışan İtalyan asıllı Bernard Perrot veya Perotto (1640 – 1709) olduğu ileri sürülmetedir. Bununla birlikte 1688'den beri bu yöntem ile düz cam üretildiği bilinmektedir. Bu yöntemde erimiş cam bir metal levha üzerine dökülerek yayılır ve üst yüzeyi bir metal silindir yardımıyla düzleştirilir. Levha daha sonra tavlama fırınında soğutulur. (Şekil – 8.75). Bu yöntemin gelişmesi sonucunda XVIII. yüzyılda içinde hava kabarcıkları bulunmayan, büyük, düz ve renksiz camlar üretilmeye başlanmış ve pencerelerdeki yerini almıştır. Bu yöntemle elde edilen cam levhalar eskisine oranla daha ucuz olmakla birlikte gene de bağıl olarak pahalıdır. XVIII. yüzyılda Fransa'da döküm yoluyla cam levha üretimi (Şekil – 8.76, 8.77, 8.78 ve 8.79)'da verilmiştir.

Düz camlar kısa sürede yaygınlaşarak Osmanlı ülkesine de girmiş ve XVIII. yüzyılda geniş pencereler içeren yapılar ortaya çıkmıştır.

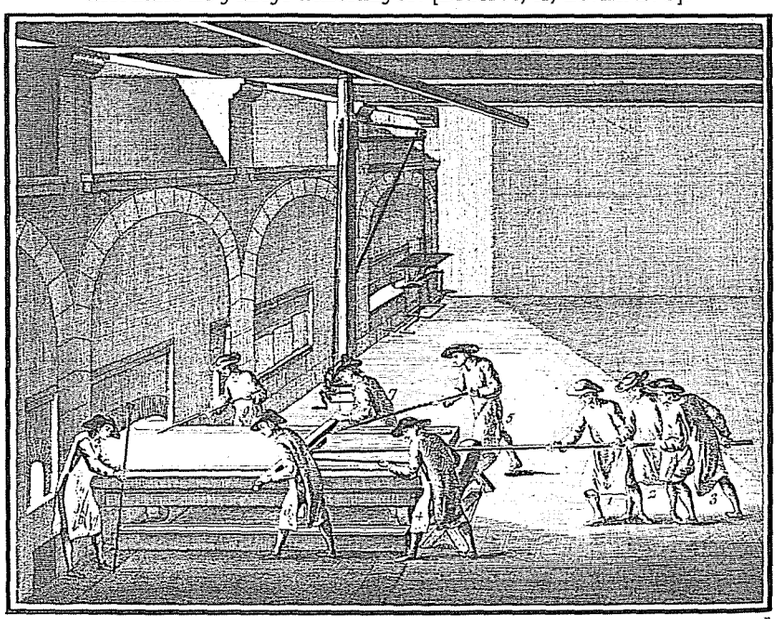
Şekil – 8.75: Döküm yoluyla cam levha elde edilmesi. (1780). [Derry ve Williams, s. 595].



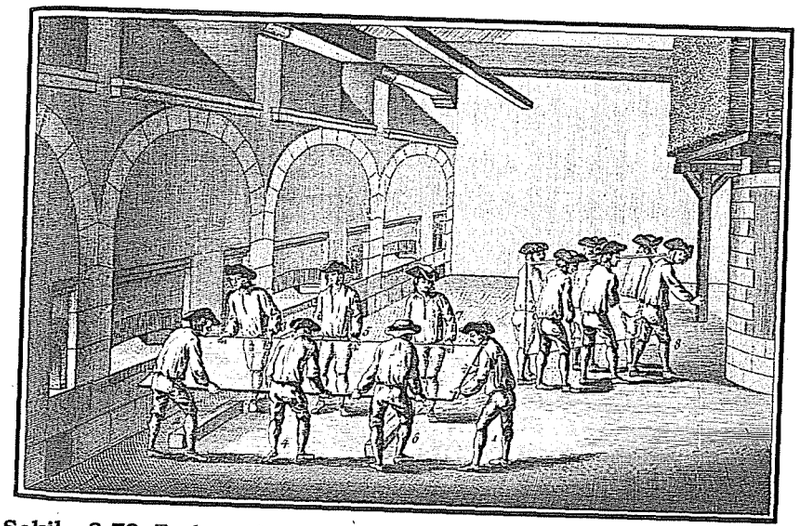
Şekil – 8.76: Dikdörtgen biçimindeki potada bulunan erimiş camın üzerindeki dışık kepçelerle alınıyor. Arkada bakır levhadan yapılmış döküm tezgâhı ve gene bakırdan yapılmış düzeltme merdanesi görülmektedir. Döküm tezgâhının iki yanında kenar yükseltisi vardır ve yerden yüksekliği tavlama ocağı ile aynı düzeydedir. [Diderot, II, Levha 272].



Şekil – 8.77: Potadaki erimiş cam tezgâh üzerine dökülüp yayılıyor ve bakır merdane ile yüzeyi düzeltiliyor. [Diderot, II, Levha 273].



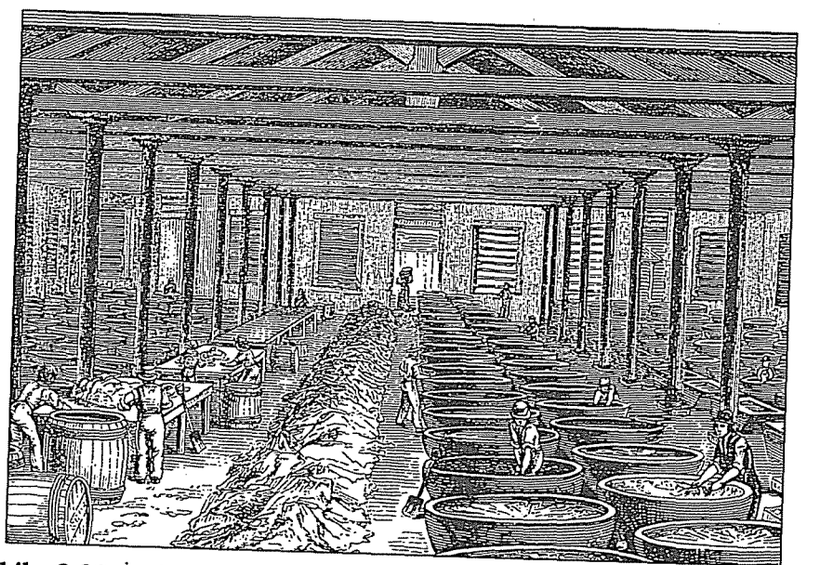
Şekil – 8.78: Tezgâh üzerine dökülmüş ve merdanelerek düzeltilmiş olan cam levha bir sürgü ile tavlama fırınına sürülüyor. [Diderot, II, Levha 274].



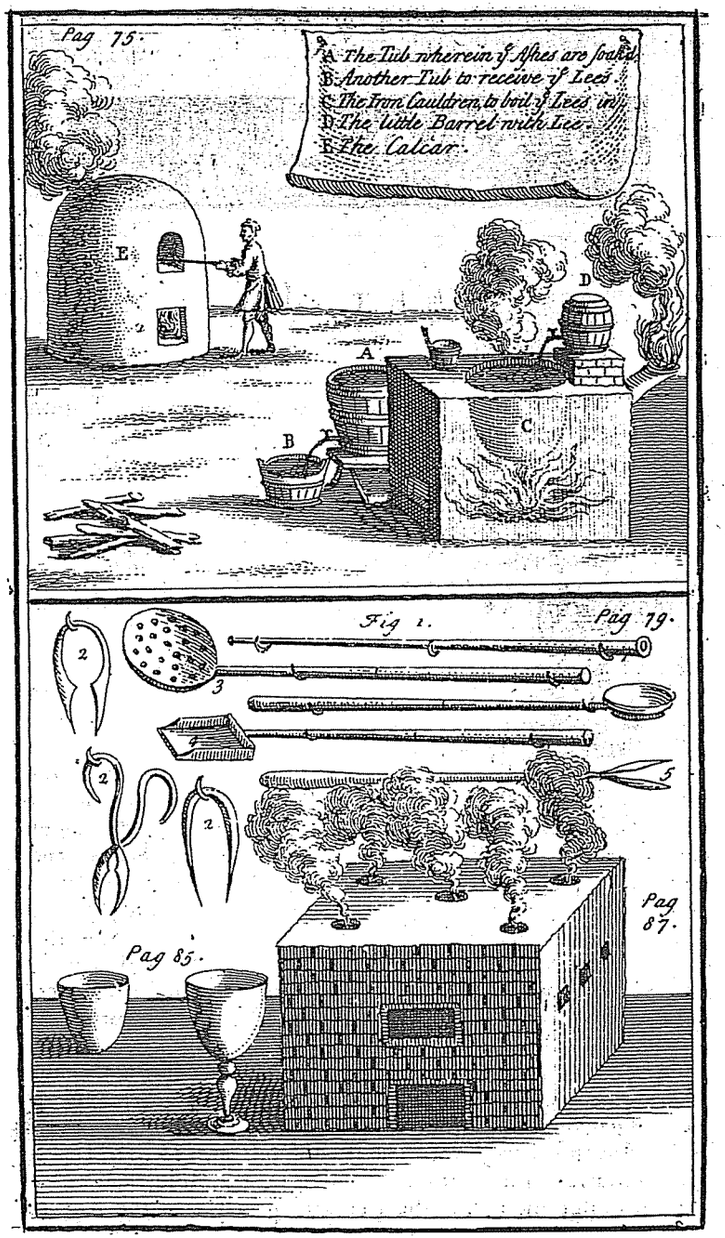
Şekil – 8.79: Tavlama fırınında soğuyan cam levha fırından çıkartılarak parlatılmak üzere götürülüyor. [Diderot, II, Levha 275].

XVIII. VE XIX. YÜZYILLARDA CAMCILIK

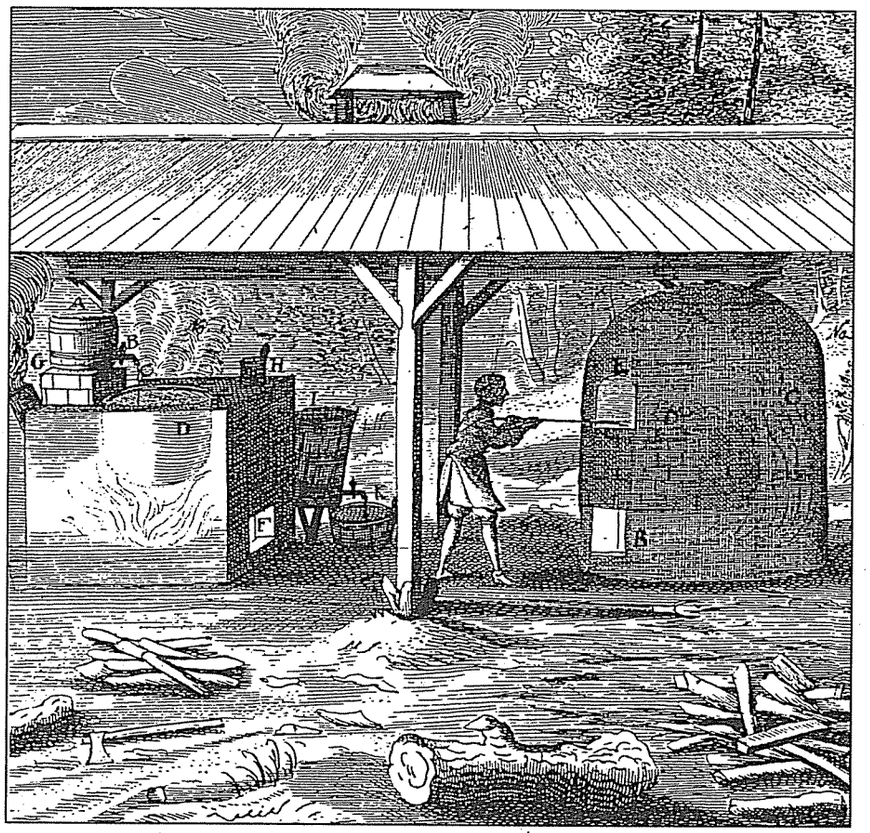
Hammaddelerin elde edilmesi



Şekil – 8.80: İngiltere'de cam üretiminde kullanılacak olan sodanın (Na_2CO_3) kristallendirilerek saflaştırılması. (1860). [Jaschke, s. 77].

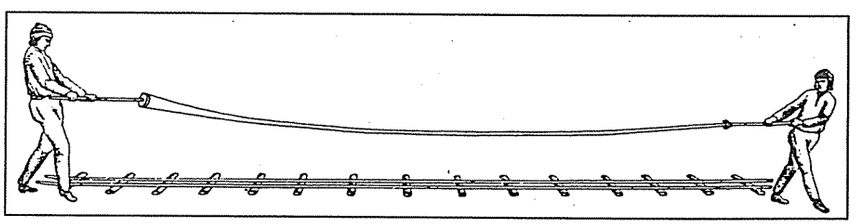


Şekil – 8.81: Külün suda çözülüp kaynatılarak potas elde edilmesi (üstte) ve camın işlenmesinde kullanılan aletler ve fırın (altta). (1838). [Kerssenbrock-Krosigk, s. 13].

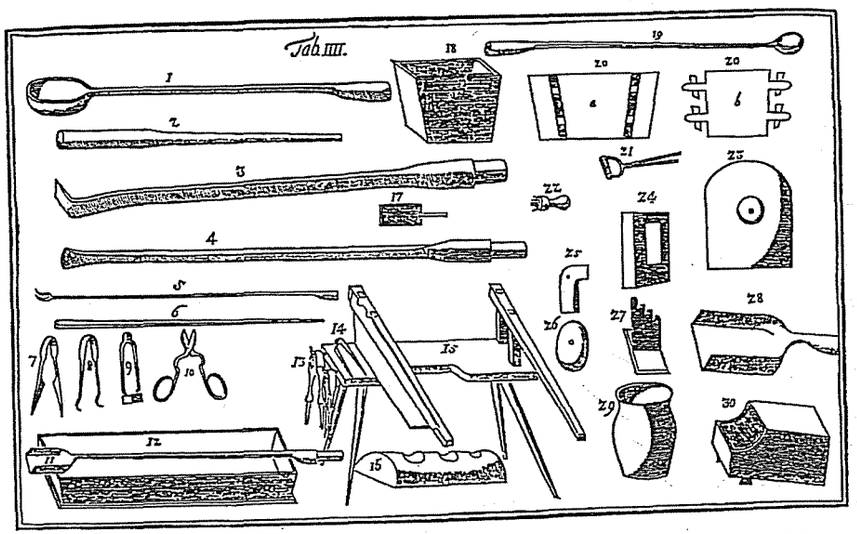


Şekil – 8.82: Külün suda çözülüp kaynatılarak potas elde edilmesi. (1759). [Jaschke, s. 75].

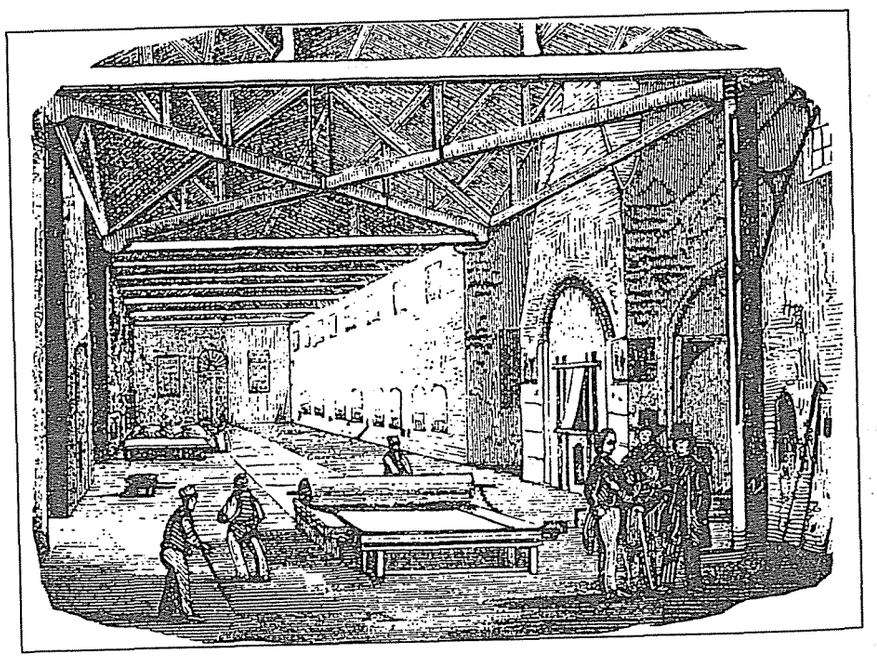
Camın işlenmesi ve fırınlar



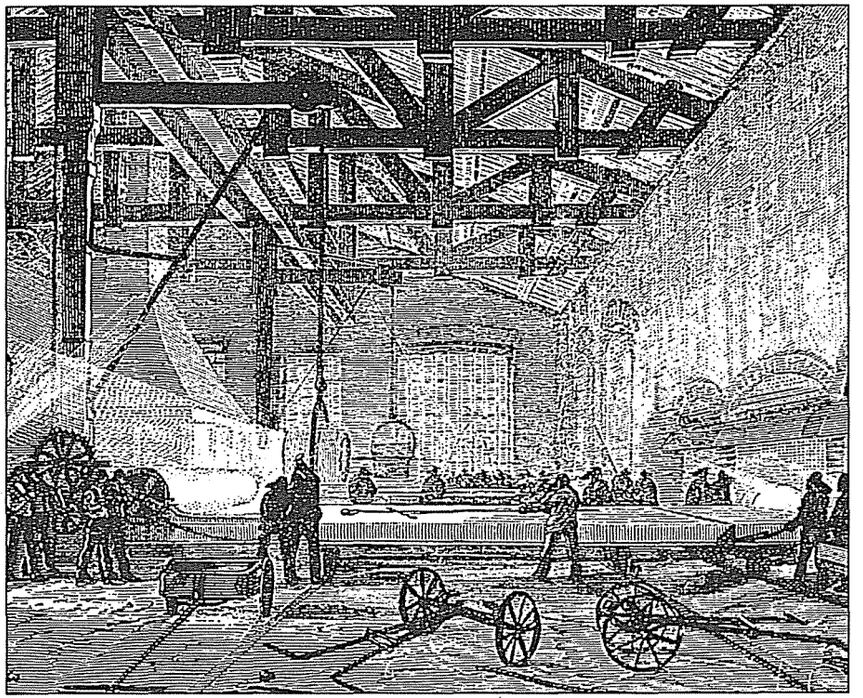
Şekil – 8.83: Üflenerek oluşturulmuş kalın bir cam borunun çekilerek ince cam boru elde edilmesi. [Derry ve Williams, s. 593].



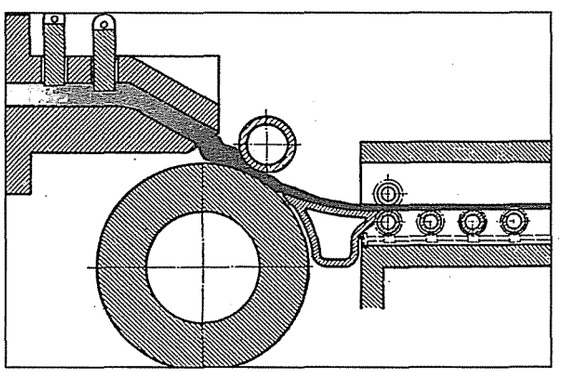
Şekil – 8.84: Cam işlemede kullanılan aletler. (1780). [Jaschke, s. 60].



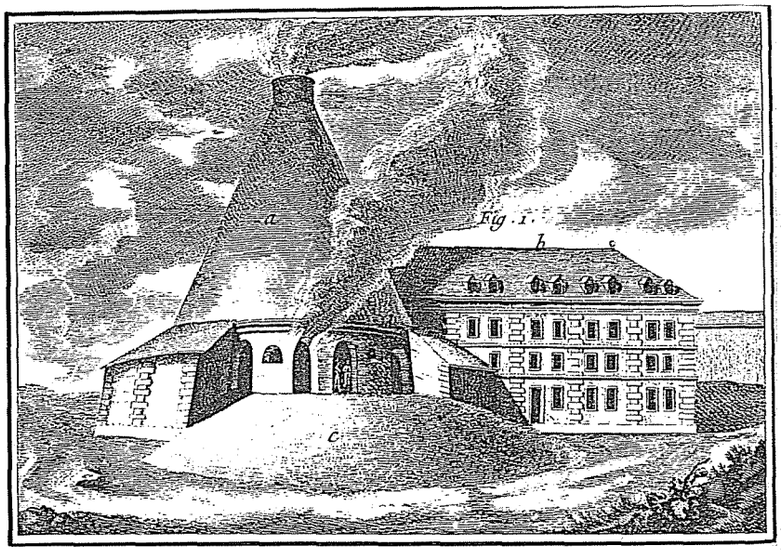
Şekil – 8.85: İngiltere'de Lancashire'deki "Union Plate Glass Works"ün fabrikasındaki cam levha döküm bölümü. (1843). [Derry ve Williams, s. 596].

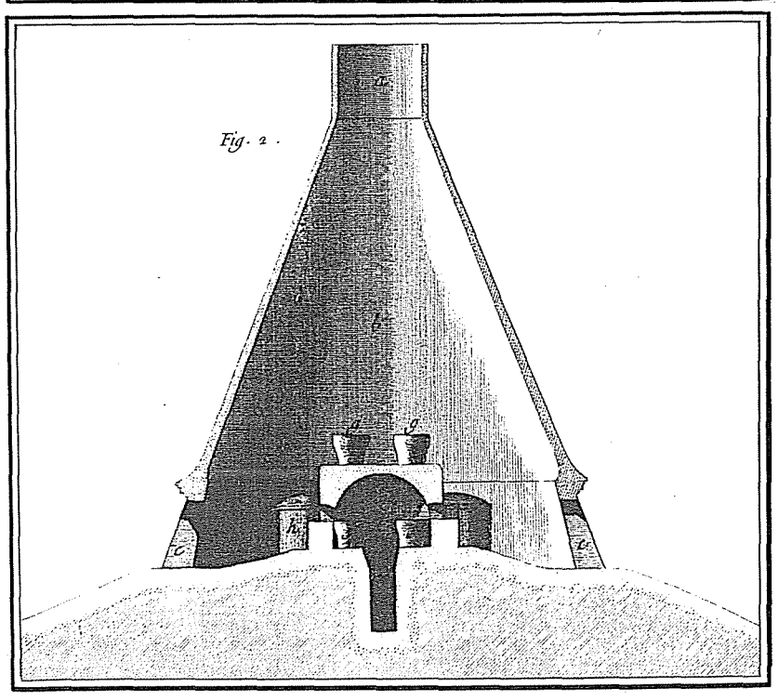


Şekil – 8.86: XIX. yüzyılda İngiltere'de levha cam üretme makinesi. [Jaschke, s. 67].

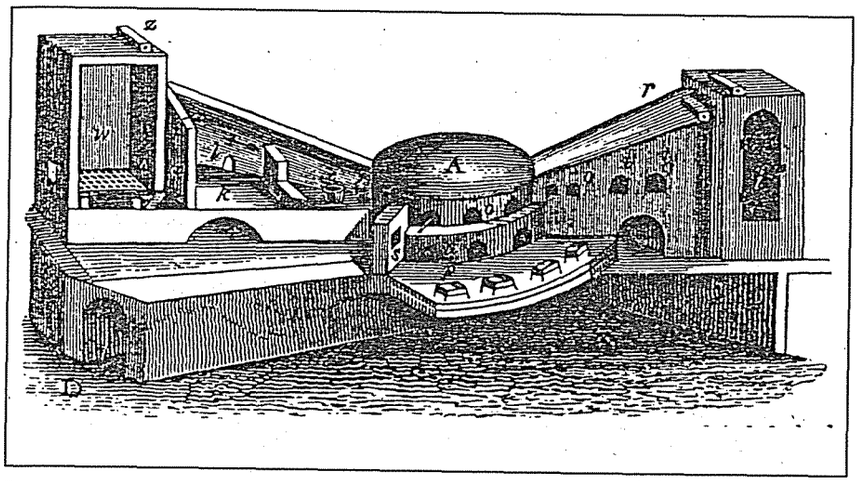


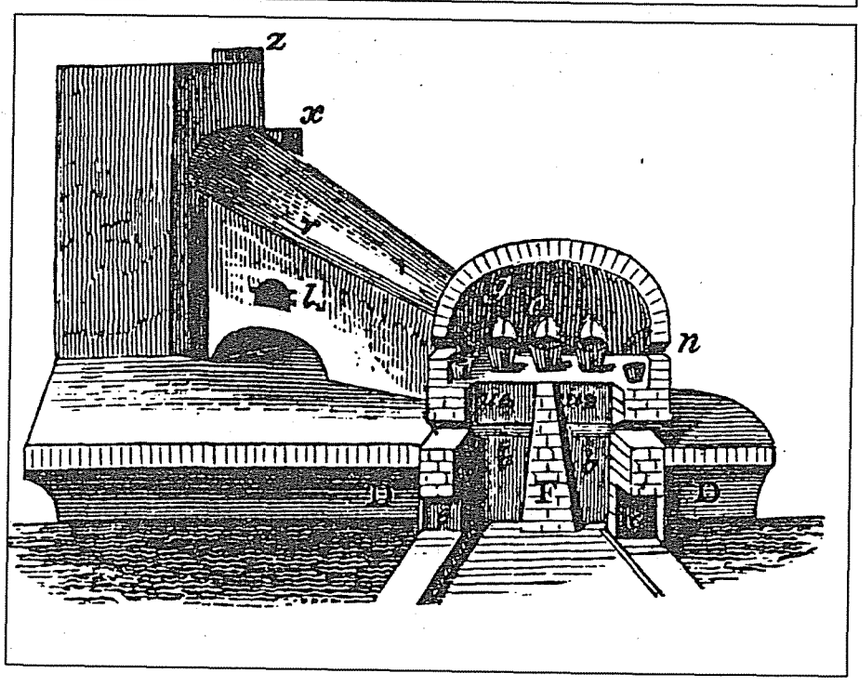
Şekil- 8.87: Günümüzde cam levhalar 1921'de Ford Motor Co. ve Pickington Brothers Ltd. tarafından geliştirilmiş olan sürekli haddeleme yöntemi ile üretilir. Cam hamuru ters yönde dönen silindirler arasından geçirilerek istenilen kalınlığa getirilir ve ardından döner rulolar üzerinde giderken katılaşır. [Glocker ve Gerheuser, Cilt III, s. 41].



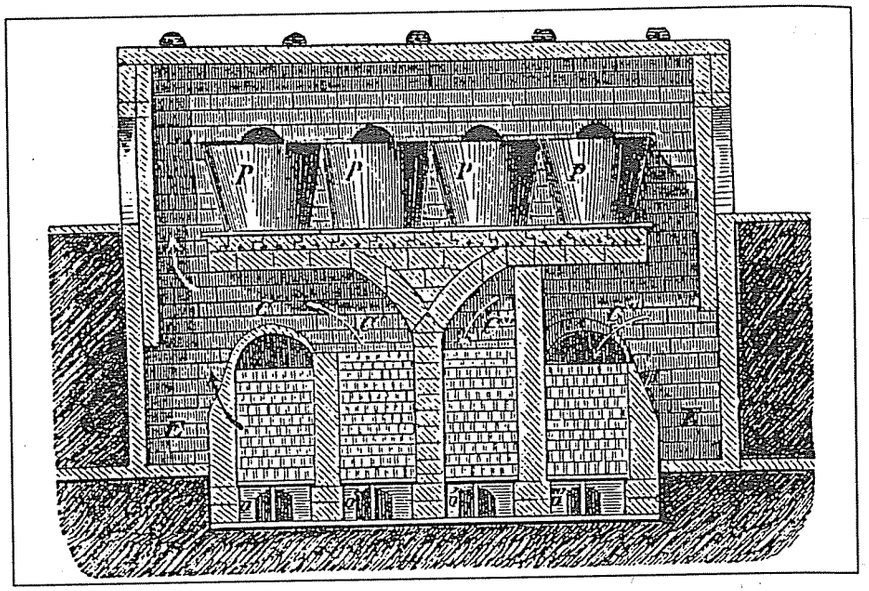


Şekil – 8.88: XVIII. yüzyılın ikinci yarısına ilişkin bir İngiliz cam fabrikasının genel görünümü (üstte) ve fabrikanın taşkömürü yakılarak ısıtılan fırınının kesiti (altta). [Diderot, II, Levha 273].

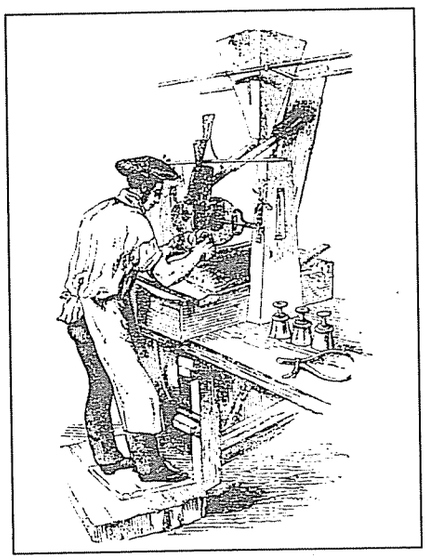




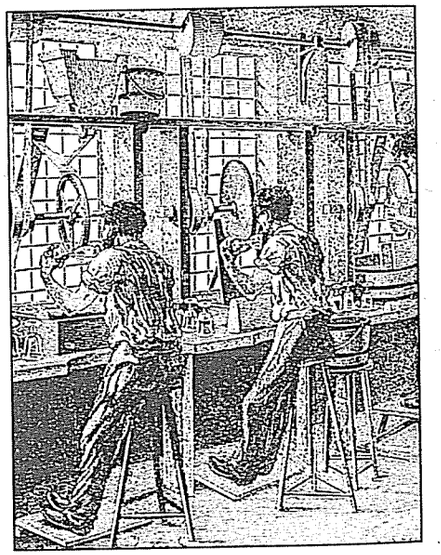
Şekil – 8.89: XIX. yüzyılın ilk yarısına ilişkin Alman cam fırını. Odun veya kömür ile ısıtılan bu fırında sıcak yanma gazları bacaya giderken yandaki galerileri ısıtmakta olup buralar üretilen cam eşyanın soğutulması için kullanılır. [Kane, s. 439].



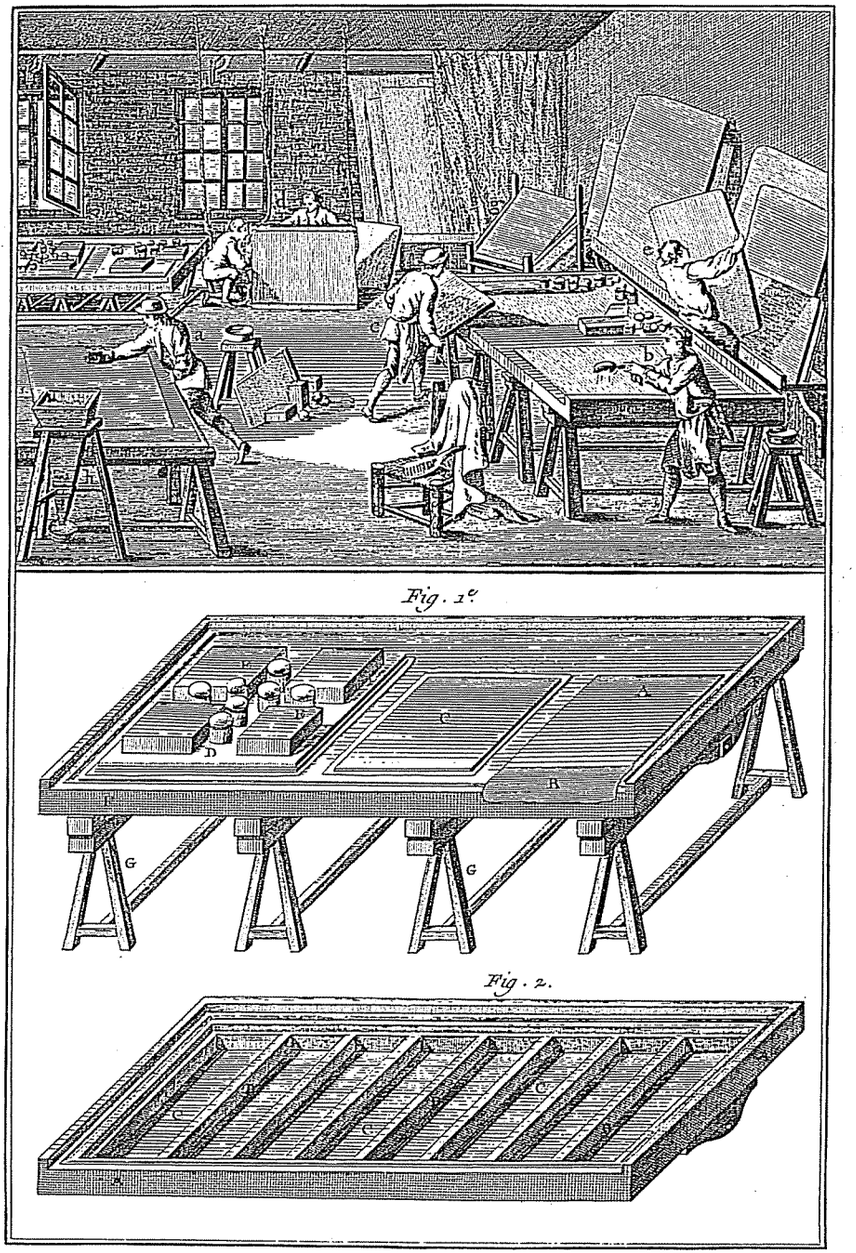
Şekil – 8.90: Gazla ısıtılan Siemens fırını. Burada yakıt olarak kullanılan gaz ve hava önceden ısıtılarak fırına verilmektedir. [Jaschke, s. 73].



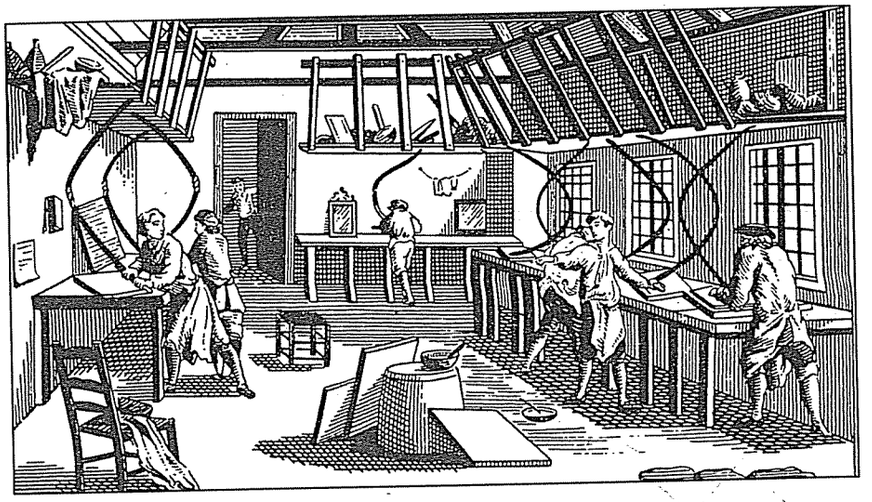
Şekil – 8.91: Bir kristal cam kabın işlenmesi. (1840). [Derry ve Williams, s. 597].



Şekil – 8.92: Kristal camların işlenmesi. [Jaschke, s. 60].



Şekil – 8.93: Diderot'ya göre ayna yapımı. (1771). [Jaschke, s. 69].



Şekil – 8.94: Ayna yapımı için cam levhaların düzeltilmesi ve parlatılması. [Derry ve Williams, s. 596].

ÇİZELGE – 8.1
Çeşitli camların bileşimleri (1842)
[Kane, s. 438]

Constituents.	Hard white Glass.		Crown Glass.		Bottle Glass.		Crystal.	Flint Glass.	
	No. 1.	No. 2.	No. 3.	No. 4.	No. 5.	No. 6.	No. 7.	No. 8.	No. 9.
Silicic Acid . . .	71·7	69·2	62·8	69·2	60·4	53·5	59·2	51·9	42·5
Potash	12·7	15·8	22·1	8·0	3·2	5·5	9·0	13·8	11·7
Soda	2·5	3·0	. .	3·0	. .	. .	. .	. .	. .
Lime	10·3	7·6	12·5	13·0	20·7	29·2	. .	. .	0·5
Alumina	0·4	1·2		3·6	10·4	6·0	. .	. .	1·8
Magnesia	. .	2·0	2·6	0·6	0·6	. .	. .	. .	. .
Oxide of Iron . . .	0·3	0·5		1·6	3·8	5·8	0·4	. .	. .
Oxide of Manganese	0·2	. .	. .	. .	. .	. .	1·0	. .	. .
Oxide of Lead . .	. .	. .	. .	. .	. .	. .	28·2	33·3	43·5
	98·1	99·3	100·0	99·0	99·1	100·0	97·8	99·0	100·0

No. 1: Yüksek sıcaklıklarda yumuşamayan ve kimyacılar için laboratuvar aletleri yapımında değerli olan sert Bohemya camı,
No. 2: Yaygın olarak kullanılan ve daha düşük sıcaklıklarda yumuşayan Bohemya camı.
No. 3: İngiliz pencere camı.
No. 4: Alman pencere camı
No. 5 ve 6: Fransız şişe camları.
No. 7 ve 8: Kimyasal alet yapımında kullanılan İngiliz camları.
No. 9: Guinaud tarafından yapılan optik cam.

Şekil – 8.95: Cam üretiminde eski kırık camlar önemli bir hammadde kaynağı olduğundan bunların toplanması söz konusudur. Kırıkları toplama işlemini seyyar cam eşya satıcılarının yaptığı anlaşılmaktadır. Burada XVIII. yüzyılda Venedik'de bir seyyar cam satıcısı ve elinde tepsi içinde cam kırıkları ile evin hanımı görülmektedir. [Jaschke, s. 102].

OSMANLILARDA CAM YAPIMI

XVI. ve XVII. yüzyıllar

Osmanlı döneminde cam yapımının merkezi İstanbul'du. Cam yapımına en uygun, ince ve beyaz renkli kum Yedikule'ye "yedi merhale" uzaklıktaki Kumboğazı'ndan çıkarılmaktaydı. Camcı ve şişeci esnafı lonca biçiminde örgütlenmişti ve camdan yapılan eşyanın fiyatları devlet tarafından belirlenirdi. Bunların dışında saray gereksinimlerini sağlayan devlete ait işyerleri de vardı. XVI. yüzyılda İstanbul'da cam yapılmakla birlikte ayrıca Venedik ve Lehistan [Polonya]'dan da çeşitli cam eşyanın ithal edildiği bilinmektedir.

Camdan yapılan eşyayı dört gruba ayırmak mümkündür: (1) Lüks tüketime yönelik ürünler (vazolar, kâseler, kupalar, şekerlikler gibi eşyalar), (2) Gündelik kullanıma yönelik ürünler (şişeler, su kapları, kandiller aynalar, fenerler ve benzerleri), (3) Askeri amaçlara yönelik ürünler (cam humbaralar, donanma fenerleri ve benzerleri) ve (4) Mimariye yönelik ürünler (nakışlı camlar [vitray], pencere camları, hamam fanusları ve benzerleri). 1640 tarihli *Es'âr* (narh) *Defteri*'nden "Şîşeciyân"ın yani camcıların surâh şîşe, nakışlu kapaklı sultanî şerbet kâsesi, çiçek bardağı, çiçek şîşesi, kandîl-i kebîr [büyük kandil], kandil, hasurlu şîşe, şişe, kadırga fânusu gibi cam eşya ile çeşitli boylarda ayna ürettiklerini öğreniyoruz. Narh defterinde bu ürünlerin çeşitli kalite ve boyları için fiyatlar belirlenmiştir.

Devlet tarafından cam işyerlerinin odun sıkıntısı çekmemesi, maya adı verilen eski cam kırıklarının yalnız işyeri sahiplerine satılması gibi konularda önlemler alınmıştır. Padişah III. Mustafa döneminde (1757 – 1774) yangın tehlikesine karşı önlem olarak bütün cam işyerleri Eğrikapı ve Tekfur Sarayı çevresinde toplanmıştır.

XVII. yüzyılın ünlü gezgini Evliya Çelebi (1611 – 1682), Padişah IV. Murad döneminde (1622 – 1640) yapılan bir esnaf geçişini anlatırken İstanbul'da cam işleri ile uğraşanların bir dökümünü vermektedir. (Çizelge – 8.2).

ÇİZELGE – 8.2
Evliya Çelebi'ye göre XVII. yüzyılın ilk yarısında İstanbul'da cam işi ile uğraşanlar

Esnaf türü	**İşyeri sayısı**		**Çalışan sayısı**	
Esnaf-ı şîşeciyân [Cam yapanlar]	Kârhane	3	Neferat	105
Esnaf-ı tacirân-ı şîşe [Cam satanlar]	Dükkân	200	Neferat	300
Esnaf-ı âyîneciyân [Aynacılar]	Dükkân	90	Neferat	105
Esnaf-ı camciyân [Cam takanlar]	Dükkân	71	Neferat	400
Toplam		**364**		**910**
Bunlardan başka 70 kişinin çalıştığı "Mîrî Şîşehâne ve Boyahânesi" ile "Camcıbaşı Kârhânesi" de vardır.				

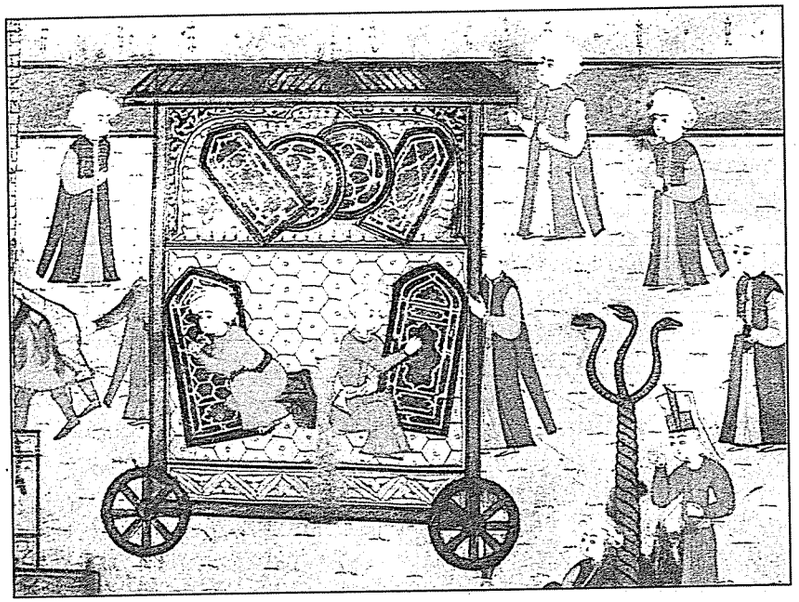
XVI. yüzyılda cam fırınları

Padişah III. Murad'ın (1575 – 1595) oğlu Şehzade Mehmed için 1582 yılında Atmeydanı'nda yaptırdığı ve 52 gün süren sünnet düğünü şenlikleri Seyyid Lokman tarafından 1582 – 1584 yılları arasında yazılmış olduğu sanılan *Sûrnâme-i Hümâyûn* adlı kitapta anlatılmıştır.[6] Kitap Nakkaş Osman ve çırakları tarafından çizilen çok sayıda minyatür ile süslenmiş olup bu minyatürlerin değişmeyen arka planında İbrahim Paşa Sarayı'nda gösterileri izleyen Padişah ile yanındakiler vardır. Ön planda ise mesleklerini icra ederek geçen esnaf loncaları ile çeşitli eğlenceler çizilmiştir.[7] Kitapta camcılık konusunda vitray yapımcılarının geçişini gösteren bir minyatür (Varak401b – 402a) ile camgerlerin (camgerân) geçisini gösteren (Varak 32b – 33a) ikinci bir minyatür vardır. (Şekil – 8.96). Camgerlerin geçişine ilişkin minyatür bir cam fırınını göstermesi bakımından Osmanlı teknoloji tarihine ilişkin çok değerli bir belgedir. Burada Varak 32b'de ellerinde cam eşyalar taşıyanlar ve Varak 33a'da da bunlara ek olarak bir cam fırını ile bunun başında çalışan camcılar görülmektedir. (Şekil – 8.97, 8.98, 8.99 ve 8.100).

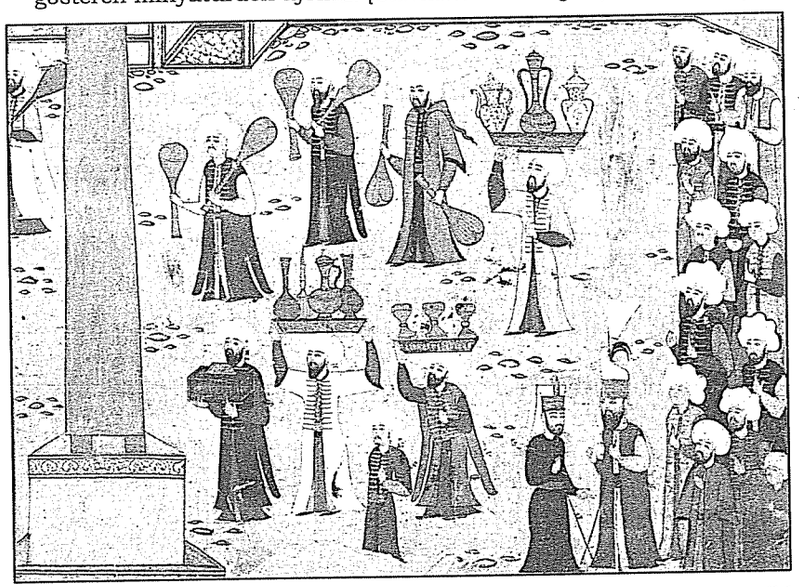
---

6 Topkapı Sarayı Kütüphanesi, H. 1344.

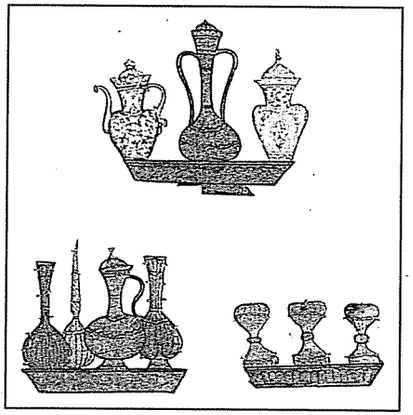
7 Filiz Çağman ve Zeren Tanındı, *Topkapı Sarayı Müzesi İslâm Minyatürleri*, İstanbul 1979, s. 61 – 62. Nakkaş Osman ve çırakları bu minyatürler ile minyatür sanatına yenilik getirmiş, figürler gerçek eylemleri ile tasvir edilmiş, renk konusunda özel bir gerçekçilik ortaya konulmuş ve ön planda insanlar ile bulundukları ortamdaki nesnelerin boyutları arasındaki orana dikkat edilmiştir. [Sezer Tansuğ, *Şenlikname Düzeni*, İstanbul 1961, s. 27 ve 39].



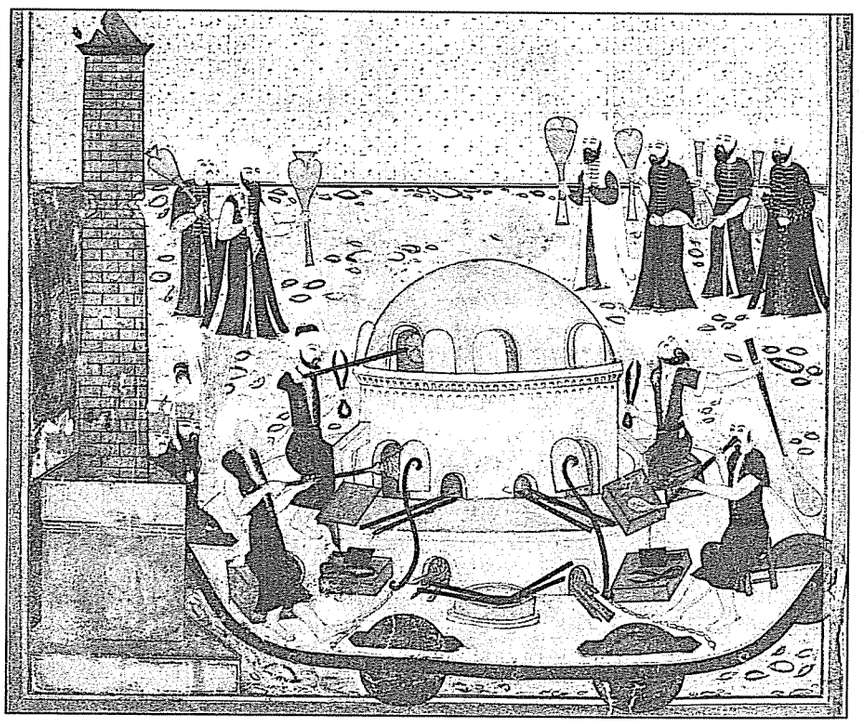
Şekil – 8.96: 1582'de yapılan esnaf geçişinde vitraycıların geçişlerini gösteren minyatürden ayrıntı. [*Sûrnâme-i Hümâyûn*, Varak 402a].



Şekil – 8.97: 1582'de yapılan esnaf geçişinde camcıların ellerinde ürettikleri cam eşyalar ile geçişlerini gösteren minyatürden ayrıntı. [*Sûrnâme-i Hümâyûn*, Varak 32b].



Şekil – 8.98: Üretilmiş olan cam eşyalardan ayrıntılar. [*Sûrnâme-i Hümâyûn*, Varak 32b]



Şekil – 8.99: 1582'de yapılan esnaf geçişinde camcıların cam fırını başında çalışarak geçişlerini gösteren minyatürden ayrıntı. [*Sûrnâme-i Hümâyûn*, Varak 33a].

Şekil – 8.100: Üfleme ile cam eşya üreten camcı ustası. [*Sûrnâme-i Hümâyûn*, Varak 33a].

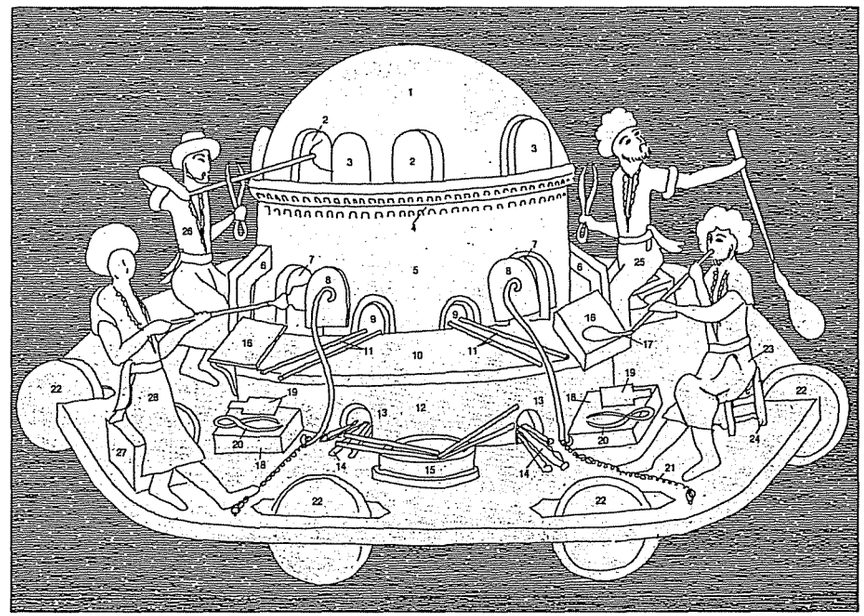
Sûrnâme-i Hümâyûn'daki minyatürde bulunanı cam fırınının incelenmesi ve başka kaynaklar ile karşılaştırılması sonucunda elde edilen değerlendirmeler aşağıda sıralanmıştır.[8]

(a) Cam fırını altı tane tekerleği bulunan bir araba üzerine oturtulmuştur. Taşınan ağırlık nedeniyle tekerleklerin ve arabanın kitaptaki diğer resimlerde görülenlere oranla çok daha sağlam olarak ve büyük olasılıkla demirden yapılmış olduğu görülmektedir.

(b) Fırının başında üçü oturarak ve biri de ayakta çalışan dört tane camcı ustası vardır. Ayakta olan işlenmiş eşyayı tavlamakta, oturanlardan biri cam hamuru almakta ve öteki ikisi de üfleme işlemi yapmaktadır. Bunların ayaklarının çıplak olması ilginçtir.

(c) Araç ve gereç olarak üfleme borusu, cam eşyanın üzerinde biçimlendirildiği mermer blok, tahta spatül ve maşa gibi camcılığın 2000 yıldır kullanageldiği araç ve gereçleri görülmektedir. Üfleme boruları 1,2 m boyundadır.

8 Emre Dölen "XVI. yüzyılda Osmanlı cam fırınları", *II. Uluslararası Türk – İslâm Bilim ve Teknoloji Tarihi Kongresi (İstanbul, 28 Nisan – 2 Mayıs 1986) Bildirileri*, Cilt I, İstanbul 1986, s. 239 – 249.

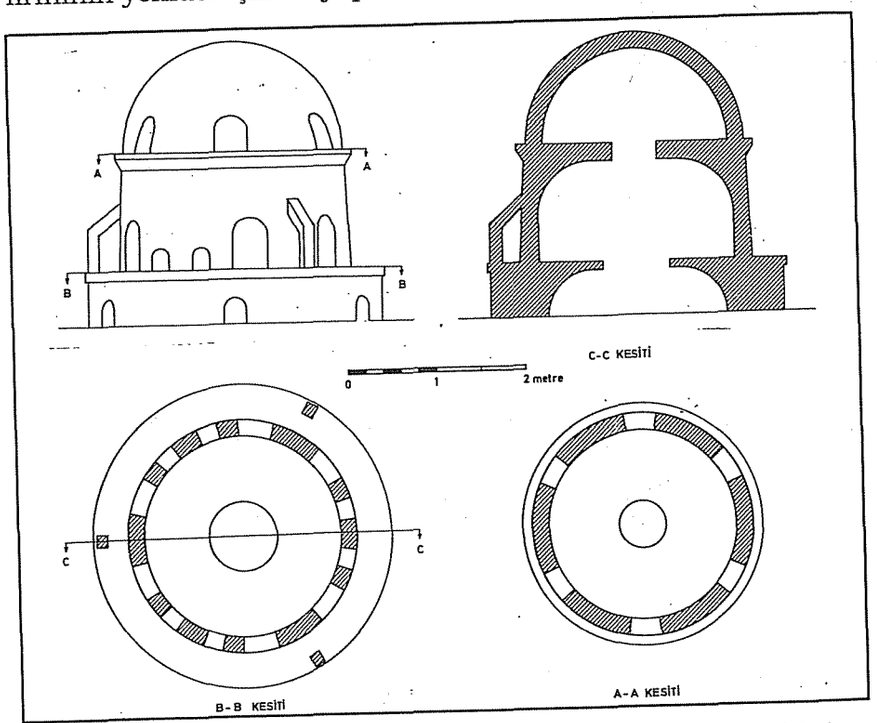


Şekil – 8.101: *Sûrnâme-i Hümâyûn*'daki cam fırınının çizimi. 1) fırın kemeri, 2) kızdırma ve tavlama ağzı, 3) fırın kapağı, 4) fırın kuşağı, 5) eritme bölümünün yan duvarı, 6) fırın desteği, 7) fırın ağzı, 8) fırın ağzı kapağı, 9) takım ısıtma ağzı, 10) çalışma tezgâhı, 11) üfleme boruları, 12) ocak, 13) ocak ağzı, 14) yakıt olarak kullanılan odunlar, 15) üfleme borularının ağzındaki camı kırıp temizleme kabı, 16) cam yoğurma levhası, 17) üfleyerek biçimlendirmenin ilk aşaması, 18) takım levhası, 19) tahta kürek, 20) biçimlendirme ve destek maşası, 21) fırın kapağının zinciri, 22) tekerlekler, 23, 25, 26 ve 28) camcılar, 24 ve 27) tabureler. [Küçükerman (1985), s. 131].

(d) Cam fırını genel görünüm olarak Osmanlı mimarisinin özelliklerini taşımatadır. Agricola tarafından tanımlanan üç odalı fırına çok benzeyen üç odalı bir fırındır. Ocak görevini gören alt bölüm biraz geniş tutularak fırının çevresinde bir çalışma bankosu oluşturulmuştur. Bu aynı dönemin Avrupa fırınlarında bulunmayan önemli bir farktır. Fırına odun atılması için altı tane ocak ağzı bulunmaktadır. Potalar içinde eritme işleminin yapıldığı ikinci bölüm üç tane destekle kuvvetlendirilmiştir. Bu bölümün çevresinde desteklere yakın yerlerde bulunan ve demirden kapakları ile demir çubuklardan kapak destekleri olan altı tane fırın ağzı vardır. Bu fırın ağızlarının arasında ikişer tane küçük ve kapaksız takım ısıtma ağzı bulunmaktadır. Fırın ağızlarının demir kapaklarla

kapatılmış olması. Fırın ağızları eritme sırasında tuğla ile örülerek kapatılan Avrupa fırınlarına göre bir üstünlüktür. Kubbeli olan ve tavlama ile soğutma işlemlerinde kullanılan üst odanın çevresinde altı tane kapaklı ağız bulunmaktadır. Elimizdeki resim bir ön eritme fırınının kullanılıp kullanılmadığı konusunda herhangi bir bilgi vermemektedir.

(e) Minyatürde ön planda bulunan insan ve eşya figürlerinin gerçekçi çizimi göz önüne alınarak Varak 32b'de cam eşya taşıyarak geçenlerin ve Varak 33a'da cam eşya taşıyanlar ile fırın başında çalışanların boylarının ortalaması alınmış ve ortalama boyun 1,7 m olduğu varsayılarak ölçeklendirme yapılmıştır. Benzer bir ölçeklendirme Agricola'daki şekillere de uygulanmış ve verilen ölçülere yakın değerler elde edilmiştir. Bu ölçeklendirme temel alınarak cam fırınının yeniden çizimi yapılmıştır. (Şekil – 8.102).



Şekil – 8.102: XVI. yüzyıla ilişkin Osmanlı cam fırınının yeniden çizimi. [Dölen, s. 249].

XVII. yüzyılda İstanbul'da cam fiyatları

XVII. yüzyılın ortalarında 1640'da hazırlanan *Es'âr* [Narh] *Defteri* bu tarihte İstanbul'da satılan cam eşyanın türleri ve bunların fiyatları konusunda ayrıntılı bilgi vermektedir. Burada *billûr* ile kaliteli (kristal) cam ve *sırça* ile de adi cam kastedilmektedir. Piyasadaki başlıca cam eşya gruplara ayrılarak aşağıda verilmiştir.[9] Buradaki rakamlar bunların *akçe* cinsinden fiyatlarını göstermektedir.

Şişeler: Sırça şişe (1 vukiyye alır): 2; Büyük boy hasırlı şişe (10 vukiyye alır): 16, 5 vukiyye alır: 8, 2,5 vukuyye alır: 4 ve 1,5 vukiyye alır: 3; Billûr, ağzı kurşunlu şişe: 15; Alaca ve şeşhâne küçük boy billûr sandık şişesi: 8; Ağzı kurşunlu billûr çarkûşe sandık şişesi: 20; Leh'den [Polonya'dan] gelen iri boy, ağzı kurşunlu billûr sandık şişesi: 18; Leh'den gelen iri boy ağzı kurşunlu beyaz saka: 14; Sırçadan kubbe cam şişe: 3.

Mutfak eşyası: Billûr iki kuşaklı, altınlı surâhi şişe âlâ büyük boy: 30, orta boy: 9 ve küçük boy: 8; Billûr müzehheb nakışlı kapaklı sultânî şerbet kâsasi: 25; Billûr müzehheb nakışlı kapaklı sultânî şerbet maşrabası: 25; Billûr alaca nar şişesi: 7; Billûr küçük ibrik: 3.

Çiçek şişeleri: Billûr şeşhâne altınlı, üç emzikli münakkaş çiçek bardağı: 25; Mâi [Mavi] billûr üç kuşaklı çiçek şişesi: 25; Billûr şeşhâne iki kat çiçek şişesi: 10; Billûr alaca ve sâde çiçek şişesi: 3,5 ve küçük boy: 2,5.

Kandil ve fânûslar: Billûr orta boy kandıl: 2; İstanbul işi sırça küçük kandil: 1,5; Billûr iki kuşaklı kandil-i kebîr: 8; Billûr beyaz alaca kandil-i kebîr: 3,5; Kibâra mahsus billûr münakkaş [nakışlı] yel fânûsu: 240; Kemikli billûr kadırga fânûsu: 30; Teneke taraklı Evrenbolu fânûs-ı kebîr: 17 ve orta boyu: 14.

Aynalar: Büyük boy kapaklı billûr âyine [ayna]: 70, Orta boy billûr âyine: 35; Ceviz ağacı taraklı küçük boy billûr âyine:

---

9 Mübahat Kütükoğlu, *Osmanlılarda Narh Müessesesi ve 1640 Tarihli Narh Defteri*, İstanbul 1983, s. 204 – 206.

20; Bütün tahta billûrdan gümüş varaklu âyine, büyük boy: 70, orta boy: 20 ve küçük boy: 13; Ceviz ağacından kenarı kemikli berber âyinesi Âlâ: 70, evsatı: 60; Ceviz ağacından iki kapaklı âyine – eni 3 rubu (25,7 cm), billûrunun eni 2 rubu' (17,1 cm): 117.

Pencere camları: Düz pencere camların boyutları ve fiyatları aşağıda (Çizelge – 8.3)'de verilmiştir.

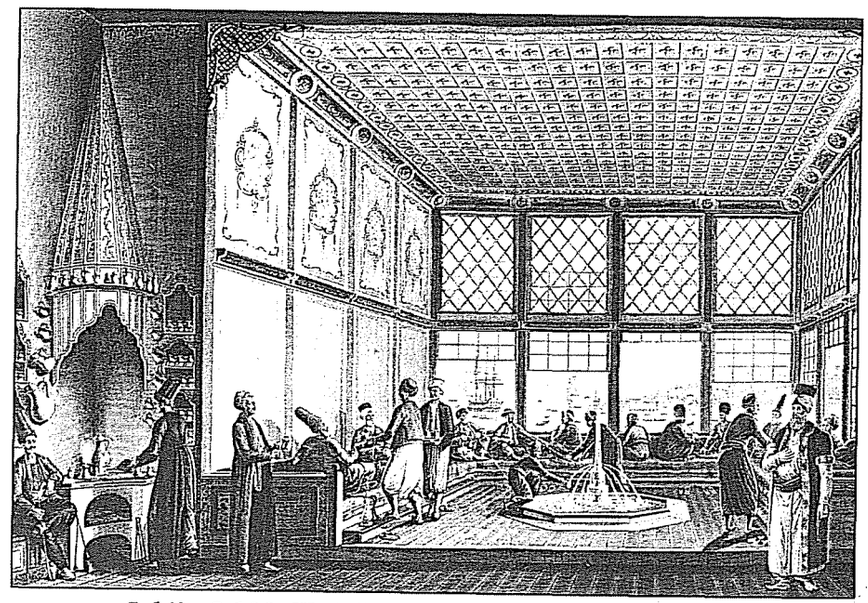
ÇİZELGE – 8.3
1640 yılında düz pencere camlarının boyutları ve fiyatları
(1 parmak = 3,16 cm; boyutlar boy x en olarak verilmiştir)
[Kütükoğlu, s. 306]

Camın cinsi	Boyutu	Boyutu (parmak)	Boyutu (cm)	Fiyatı (akçe)
Câm-ı billûr	Battal	18 x 15	56,9 x 47,4	240
	Kebîr [Büyük]	14 x 12	44,2 x 37,9	–
	Vasat [Orta]	12 x 8	37,9 x 35,3	35
	Miyâne	9 x 8	28,4 x 25,3	20
	Sagîr [Küçük]	8 x 7	25,3 x 22,1	10
Câm-ı sırça	Kebîr [Büyük]	6	19	3
	Sagîr [Küçük]	5	15,8	2

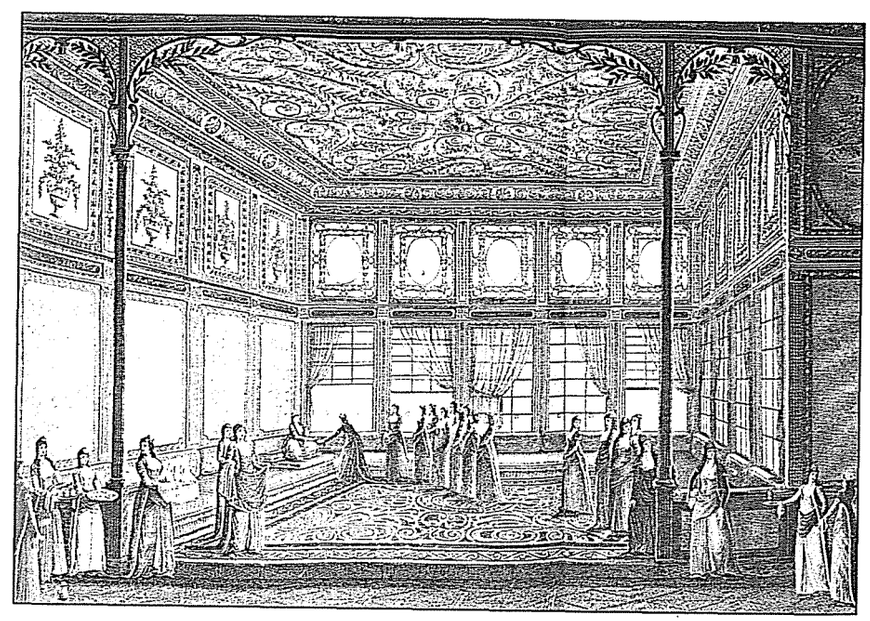
Burada verilen cam fiyatlarını anlamlandırabilmek için bunları bazı mal ve hizmetlerin fiyatları ile karşılaştırmak gereklidir:

Edirne arabacıları, İstanbul'dan Edirne'ye yaz ve kışda	**340 akçe**
Su sığırı (Manda) arabası ile bir araba yükü otluk	**250 akçe**
Boğmağı sim [gümüş] demir ve kundaksız tüfeng – boyu 5 karış ve 4 dirhem kurşun atar	**450 akçe**
Kastamonu'nun külçe bakırı Vukiyyesi [okkası]	**60 akçe**
Lahm-ı bakar [sığır eti] Vukiyyesi [okkası]	**4,5 akçe**

Bu fiyatlar karşısında, sıradan insanların evlerinin pencerelerine büyükçe camlar takmaları mümkün değildir. Büyük camlı pencereler ancak saraylarda, camilerde, konaklarda ve diğer kamusal yapılarda kullanılmıştır. XVIII. yüzyıl sonlarına doğru döküm yöntemi ile pencere camı üretimi yaygınlaşmış, boyutu büyümüş ve fiyatı gene yüksek olmakla birlikte bağıl olarak ucuzlamıştır. Bunun sonucunda büyük pencereli yapılar ortaya çıkmıştır. (Şekil – 8.103 ve 8.104).



Şekil – 8.103: III. Selim döneminde yeni bir kahvehane.
[Küçükerman (2008), s. 84].

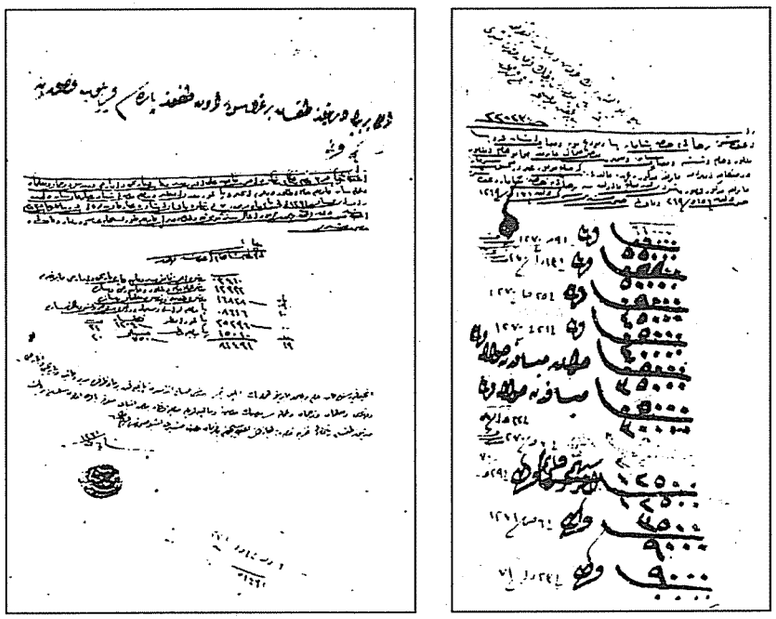


Şekil – 8.104: III. Selim döneminde Hatice Sultan Konağı.
[Küçükerman (2008), s. 87].

Beykoz camları (XIX. yüzyıl)

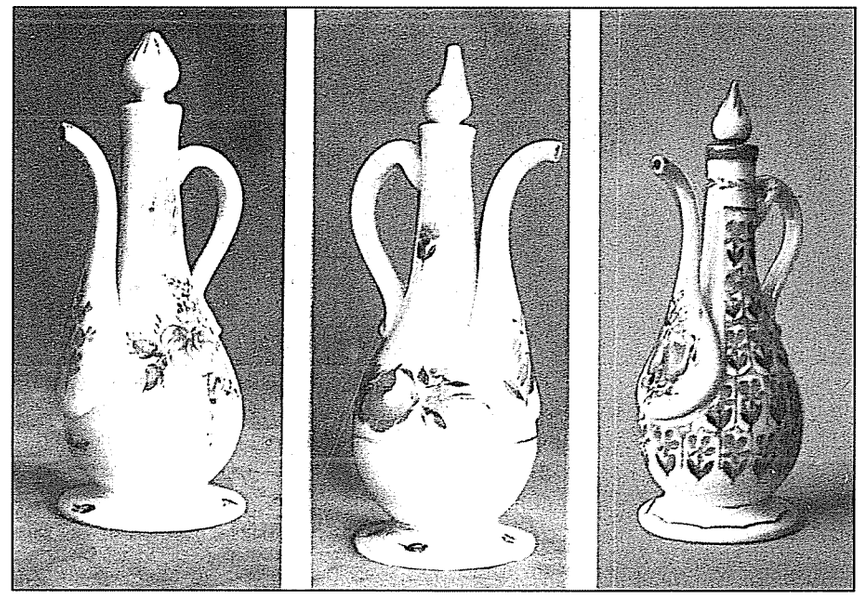
Padişah III. Selim döneminde (1789 – 1807) Mevlevi dervişi Mehmed Dede Venedik'de opal cam yapımını öğrendikten sonra Beykoz dolayında Çubuklu yakınındaki İncir Köyü'nde bir işyeri açarak *Beykoz işi* veya *çeşm-i bülbül* [bülbül gözü] adı verilen cam işlerini yapmıştır. Bu işyerinin ne kadar çalıştığı bilinmemektedir. 1843'de aynı yerde bir cam imalâthanesi bulunmaktadır.

XIX. yüzyılın ortalarına doğru 1846'da Bursa Valisi Mustafa Nuri Paşa Paşabahçe'de "Cam ve Billûr Fabrikası" yaptırarak Avrupa'dan ustalar getirtmiştir. Bu fabrika daha sonra Padişah Abdülmecid tarafından satın alınmış ve başına Darphâne-i Âmire Nâzırı Tahir Efendi getirilmiştir. Eldeki belgelerden bu fabrikanın en az on yıl çalıştığı anlaşılmakta fakat ne zaman ve nasıl kapandığı bilinmemektedir. (Şekil – 8.105 ve 8.106).



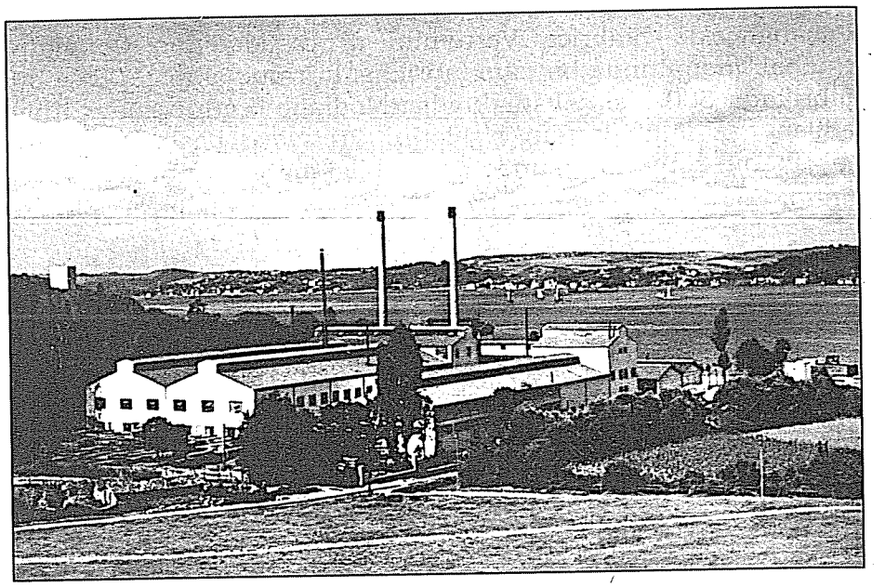
Şekil – 8.105: Beykoz'da kurulan cam fabrikasının ücretler, vergiler ve çeşitli alımlara ilişkin belgelerinden örnekler. (1855). [Bayramoğlu].

Soul Modiano adlı Musevi bir işadamı 1899'da Paşabahçe'de "Fabrica Vetramini di D. Modiano Constantinopoli" adı altında bir cam fabrikası kurmuş olup 1902'de bu fabrikada 500 kişi çalışmaktadır. Modiano o güne kadar ithal edilen gaz lâmbalarının şişelerini üretmeye başlamıştır. Bu fabrikanın sonu konusunda da bir bilgi mevcut değildir,



Şekil – 8.106: Beykoz işi opak cam eşya örnekleri. [Bayramoğlu].

Cam konusunda XIX. yüzyılda yapılan girişimler başarısızlıkla sonuçlanmış ve sürdürülememiştir. Cumhuriyet'in ardından Boğaz'ın Anadolu yakasındaki cam fabrikası geleneği 17 Şubat 1934'de kurulan "Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları AŞ" tarafından Paşabahçe'de yapılan fabrika ile sürdürülmüştür. Kısa sürede Türkiye'nin özellkle şişe ve bardak gibi ihtiyaçlarını gideren fabrika zaman içinde gelişerek pencere camı üretimine geçmiş ve günümüzde bu alanda Avrupa'nın en önemli kuruluşu haline gelmiştir. (Şekil – 8.107).



Şekil – 8.107: "Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları T.A.Ş." tarafndan Paşabahçe'de kurulan fabrikanın 1930'lu yıllardaki genel görünümü.

KAYNAKLAR

Agricola, Georgius, *De Re Metallica*, İngilizceye çevirenler Herbert Clark Hoover ve Lou Henry Hoover, Dover Publications Inc., New York 1950.

Al-Hassan, Ahmad Y. ve Donald R. Hill, *Islamic Technology – An Illustrated History*, Cabridge University Press, Cambridge 1992.

[Altınay], Ahmet Refik, *Osmanlı Devrinde Türkiye Madenleri (867 – 1200)*, Türkiyat Enstitüsü Yayınları, İstanbul 1931.

Amman, Jost ve Hans Sachs, *The Book of Trades (Ständebuch)*, Dover Publications Inc., New York 1973.

Atik, Şeniz, "İç-kalıp tekniği ile yapılmış Anadolu kaynaklı cam kaplar", *I. Uluslararası Anadolu Cam Sanatı Sempozyumu (26 – 27 Nisan 1988)*, Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş. Yayınları, İstanbul 1990, s. 16 – 29.

Bayramoğlu, Fuat, *Turkish Glass Art and Beykoz – Ware*, Publication of the RCD Cultural Institute, İstanbul 1976.

Bergsøe, Paul, "Metallurgy of gold and platinum among the Pre-Columbian Indians". *Nature*, 137, 29 (4 January 1936).

Bernal, John Desmond, *Science in History*, 3rd edition, 4 cilt, Penguin Boks, Harmondsworth 1969.

Biringuccio, Vannoccio, *The Pirotechnia of Vannoccio Biringuccio*, İngilizceye çevirenler Cyril Stanley Smith ve Martha Teach Gnudi, The American Institute of Mining and Metallurgical Engineers, New York 1942.

Bor, Fuat Yavuz, "Ana hatlarıyla bilim ve teknik olarak «metalurji» üzerine bazı düşünceler", *Madencilik*, 7 (2), 97 – 107 (1968).

Bory, Paul, *La Roi des Métaux*, Alfred Mame et Fils, Tours 1886.

Childe, Gordon, *Tarihte Neler Oldu*, Çevirenler Mete Tuncay ve Alâeddin Şenel, 2. baskı, Alan Yayıncılık, İstanbul 1982.

Cossons, Neil, *The BP Book of Industrial Archeology*, 3rd edition, David and Charles, Devon 1993.

Craddock, P. T. ve M. J. Hughes (Eds.), *Furnaces and Smelting Technology in Antiquity*, British Museum Publications, London 1985.

Cumhuriyetin 50. Yılında Türkiye Demir ve Çelik İşletmeleri, Apa Ofset Basımevi, İstanbul 1973.

Çağman, Filiz ve Zeren Tanındı, *Topkapı Sarayı Müzesi İslâm Minyatürleri*, Tercüman Sanat ve Kültür Yayınları, İstanbul 1979.

Danışman, H. H. Günhan, Fokke Gerritsen, Mustafa Kaçar, Hadi Özbal, Rana Özbal, Gülsün Tanyeli, Ünsan Yalçın ve Zülküf Yılmaz, "Demirköy – Samakocuk iron foundary: An industrial archaelogy project at in Ottoman metal workshop complex in Thrace", *Tüba – Ar*, 10, 91 – 110 (2007).

Danışman, H. H. Günhan, "Kırklareli – Demirköy «Fatih» Dökümhanesi su enerjisi düzenekleri ön değerlendirmesi", *Osmanlı Bilimi Araştırmaları*, 9 (1 – 2). 79 – 87 (2007 – 2008).

Danışman, H. H. Günhan, Fokke Gerritsen, Mustafa Kaçar, Hadi Özbal, Rana Özbal, Gülsün Tanyeli, Ünsan Yalçın, Nurcan Yazıcı ve Zülküf Yılmaz, "Kırklareli, Demirköy'de Osmanlı dönemi demir dökümhanesi'nde çok disiplinli endüstri arkeolojisi projesi", *International Iron and Steel Symposium (2 – 4 April 2012; Karabük, Türkiye)*, 2012, s. 320 – 327.

Darling, A. S., "Non-ferrous metals", *An Encyclopedia of the History of Technology*, Editör Ian McNeil, Routledge, London 1989, s. 47 – 143.

Day, Lance ve Ian McNeil (Eds), *Biographical Dictionary of the History of Technology*, Routledge, London 1996.

Derry, T. K. ve Trevor I. Williams, *A Short History of Technology*, Oxford University Press, Oxford 1979.

Diderot, Denis, *A Diderot Pictorial Encyclopedia of Trades and Industry*, 2 cilt, Editör Charles Coulston Gillispie, Dover Publications Inc., New York 1959.

Dölen, Emre, "XVI. yüzyılda Osmanlı cam fırınları", *II. Uluslararası Türk – İslâm Bilim ve Teknoloji Tarihi Kongresi (İstanbul, 28 Nisan – 2 Mayıs 1986) Bildirileri*, Cilt I, İstanbul 1986, s. 239 – 249.

Dölen, Emre, *Kimya Tarihinden Kesitler*, Türkiye Kimya Derneği Yayınları, İstanbul 2018.

Duruel, Nursel (ed), *Glass – The Eternal Beauty*, Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş. Yayınları, İstanbul 1990.

Erman, Adolf, *Life in Ancient Egypt*, İngilizceye çeviren H. M. Tirard, Dover Publications Inc., New York 1971.

Evliya Çelebi, *Evliya Çelebi Seyahatnâmesi'nden Seçmeler*. I, Hazırlayan Atsız, Millî Eğitim Bakanlığı Yayınları, İstanbul 1971.

Evliya Çelebi (Mehmed Zıllîoğlu), *Evliya Çelebi Seyâhatnâmesi*, Dokuzuncu kitap, Türkçeleştiren Zuhuri Danışman, Zuhuri Danışman Yayınevi, İstanbul 1970.

Feldman, Anthony ve Peter Ford, *Bilginler ve Buluşlar Ansiklopedisi*, Çevirenler Mehmet Akçalı ve Kezban Akçalı, Milliyet Yayınları, İstanbul 1983.

Figuier, Louis, *Les Grandes Inventions Anciennes et Modernes – Dans les Sciences, l'Industrie et les Arts*, Librairie de L. Hachette, Paris 1861.

Fischer, Douglas Alan, *The Epic of Steel*, Harper and Row, New York 1963.

Gimpel, Jean, *Ortaçağda Endüstri Devrimi*, Çeviren Nazım Özüaydın, TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları, Ankara 1996.

Glocker, Winfred ve Renate Gerheuser, *Glastecknik*, Band 3, *Fachglas*, Deutsches Museum, München 2007.

Haspels, C. H. Emilie, *Eski Yunan Boyalı Keramiği*, Çeviren Aşkıdil Akarca, İstanbul Üniversitesi Edebyat Fakültesi Yayınları, İstanbul 1946.

Henseling, Karl Otto, *Bronze, Eisen, Stahl – Bedeutung der Metalle in der Geschichte*, Rowohlt Taschenbuch Verlag, Hamburg 1989.

Heynert, Gerhard ve Jacob Willems, "Neuere Entwicklungen bei der Roheisenherstellung im Hochofen", *Umschau*, Sayı 21, 689 – 692 (1967)

Haynes, E. Barrington, *Glass Through the Ages*, Penguin Boks, Harmondsworth 1970.

İzet, Hakkı, "Anadolu çiniciliğinin üzerinde durulmıyan bazı teknik ve işçilik özellikleri", *Milletlerarası Birinci Türk Sanatları Kongresi (Ankara. 19 – 24 Ekim 1959) Kongreye Sunulan Tebliğler*, Ankara Üniversitesi İlâhiyat Fakültesi Türk ve İslâm Sanatları Tarihi Enstitüsü Yayınları, Ankara 1962, s. 248 – 252.

Jaschke, Brigitte, *Glasherstellung – Produkte, Technik, Organisation*, Deutsches Museum, München 1997.

Kaçar, Mustafa, "Osmanlı ordusunda görevli Fransız subayı Saint-Remy'nin İstanbul'daki top döküm çalışmaları (1785 – 1787)", *Osmanlı Bilimi Araştırmaları*, 5 (1), 33 – 50 (2003).

Kane, Robert, *Elements of Chemistry*, American edition by John Wiliam Draper, Harper and Brothers, New York 1842.

Kaptan, Ergun, "Anadolu'da kalay ve eski yeraltı kalay madenciliği", *Jeoloji Mühendisliği*, 40, 15 – 19 (1992).

Karamağaralı, Beyhan, "Ahlat'ta bulunan bir çiin fırını", *Yıllık Araştırmalar Dergisi* (Ankara Üniversitesi İlâhiyat Fakültesi Türk ve İslâm Sanatları Tarihi Enstitüsü), 3, 67 – 93 (1981).

Kerssenbrock-Krosigk, Dedo von, *Glass of the Alchemists (Lead Crystal – Gold Ruby, 1650 – 1750)*, Corning Museum of Glass, New York 2008.

Kılıç, Sinan, "Sihirli taşlardan savaş kılıçlarına uzanan öykü – Ateş düşleri", *Bilim ve Teknik*, Sayı 341, 42 – 47 (Nisan 1996).

Kiaulehn, Walther, *Demir Melekler*, Çeviren Hayrullah Örs, Remzi Kitabevi, İstanbul 1971.

Kirby, Richard Shelton, Sidney Withington, Arthur Burr Darling ve Frederick Gridley Kilgour, *Engineering in History*, Dover Publicacions Inc., New York 1990.

Klein, Dan ve Ward Lloyd, *The History of Glass*, Tiger Books International, London 1993.

Klemm, Friedrich, *Geschichte der Tecknik – Der Mensch und seine Erfindungen im Bereich der Abendlandes*, Rowohlt Taschenbuch Verlag, Hamburg 1989.

Krankenhagen, Gernot ve Horst Laube, *Werkstoffprüfung – Von Explosionen, Brüchen und Prüfungen*, Rowohlt Taschehbuch Verlag, Hamburg 1983.

Kritovulos, *Kritovulos Tarihi (1451 – 1467)*, Çeviren Ari Çokona, Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları, İstanbul 2018.

Kupfer, Christian Weise Verlag, München 2003.

Küçükerman, Önder, *Cam Sanatı ve Geleneksel Türk Camcılığından Örnekler*, Türkiye İş Bankası Kültür Yayınları, Ankara 1985.

Küçükerman, Önder, *Göz Boncuğu – 3000 Yıllık Akdeniz Camcılığının Anadolu'daki Son İzleri*, Türkiye Turing ve Otomobil Kurumu Yayınları, İstanbul 1987.

Küçükerman, Önder, *Türkiye'nin Kültür Mirası 100 Cam*, NTV Yayınları, İstanbul 2008.

Kütükoğlu, Mubahat S., *Osmanlılarda Narh Müessesesi ve 1640 Tarihli Narh Defteri*, Enderun Kitabevi, İstanbul 1983.

Lefroy, J. H.,"The great cannon of Muhammad II. (A.D. 1464)", *The Archeological Journal*, 25 (100), 261 – 280 (1868).

Levey, Martin, *Chemistry and Chemical Technology in Ancient Mesopotamia*, Elsevier Publishing Co., Amsterdam 1959.

Mämpel, Uwe, *Keramik – Von der Handform zum Industrieguss*, Rowohlt Taschelbuch Verlaf, Hamburg 1985.

Öcal, Muammer, Gültekin Güngör ve Mahmut Şükrü Gök, *Resimli Madencilik Terimleri Sözlüğü*, İstanbul 1988].

Ökse, A. Tuba, *Önasya Arkeolojisi Seramik Terimleri*, Arkeoloji ve Sanat Yayınları, İstanbul 1993.

Öney, Gönül, *Anadolu Selçuklu Mimari Süslemeleri ve El Sanatları*, 2. baskı, Türkiye İş Bankası Kültür Yayınalrı, Ankara 1988.

Özenbaş, Macit, "Metal malzemenin tarihteki gelişimi", *Bilim ve Teknik*, Sayı 341, 48 – 49 (Nisan 1996).

Palmer, Marilyn ve Peter Neaverson, *Industrial Archaelogy – Principles and Practice*, Routledge, London 2000.

Partington, J. R., *A Short History of Chemistry*, 3rd ed., Macmillan and Co., London 1965.

Phoka, Ioanna E. ve Panos D. Valavanis, *Greek Pottery – A Culture Captured in Clay*, 4th ed., Kedros Publishing Inc., Athens 1992.

Roesch, Karl, "Kommagene – das Land «ubi ferrum nascitur»", *Antike Welt*, 6, 15 – 17 (1975).

Selmaier, Franz, *Fisen, Kohle und Damph – Die Schrittmacher der Industriellen Revolution*, Rowohlt Taschelbuch Verlag, Hamburg 1984.

Tait, Hugh, *The Golden Age of Venetian Glass*, British Museum Publications, London 1979.

Tamer, Hadi, "Türk çinilerinin terkip ve tekniğine dair bazı tahlil, müşahede ve mukayeseler", *Milletlerarası Birinci Türk Sanatları Kongresi (Ankara. 19 – 24 Ekim 1959) Kongreye Sunulan Tebliğler*, Ankara Üniversitesi İlâhiyat Fakültesi Türk ve İslâm Sanatları Tarihi Enstitüsü Yayınları, Ankara 1962, s. 360 – 369.

Tansuğ, Sezer, *Şenlikname Düzeni – Türk Minyatüründe Gerçekçi Duyuş ve Gelişme*, De Yayınevi, İstanbul 1961.

Tekin, Halil, *Eski Anadolu Madenciliği – Arkeolojik Verilerin Işığı Altında Başlangıcından Demir Çağı'na Kadar*, Bilgin Kültür ve Sanat Yayınları, Ankara 2015.

Terem, Haldun Nüzhet, *Metallurgi*, 3. baskı, İstanbul 1965.

Theophilus, *On Divers Arts*, İngilizceye çevirenler John G. Hawthorne ve Cyryt Stanley Smith, Dover Publications Inc., New York 1979..

juTürkiye Demir Çelik Fabrikaları Müessesesi, Pulhan Matbaası, İstanbul 1945.

Ün, Reşat, *Metal Kimyası Dersleri*, İstanbul Üniversitesi Kimya Fakültesi Yayınları, İstanbul 1968.

Varchmin, Jochim ve Joachim Radkau, *Kraft, Energie und Arbeit – Energie und Gesellschaft*, Rowohlt Taschenbuch Verlag, Hamburg 1988.

Weisz, Herbert, "Studies of Egyptian bronzes", *Journal of Chemical Education*, 32 (2), 70 – 72 (1955).

Weinberg, Gladys Davidson, *Glass Vessels in Ancient Greece*, Ministry of Culture, Athens 1992.

Wolf, A., *A History of Science, Technology and Philosophy in the 16th and 17th Centuries*, 2nd ed., 2 cilt, Harper and Brothers, New York 1959.

Yazıcı, Nurcan, "Kırklareli – Demirköy'deki Fatih demir dökümhanesi", *Metalurji*, 160, 22 – 25 (2011).

Yetkin, Şerare, "Çini", *TDV İslâm Ansiklopedisi*, Cilt 8, İstanbul 1993, s. 329 – 335.

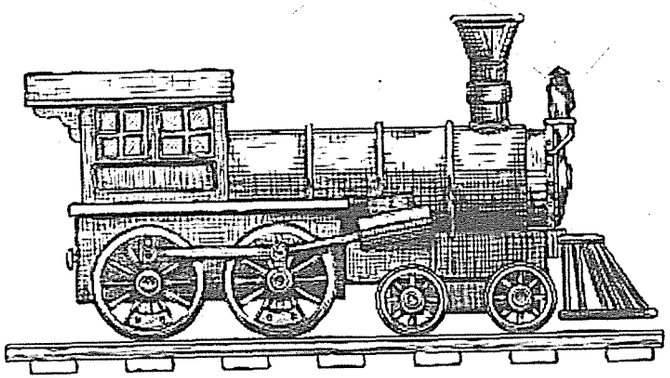
Yetmen, Yılmaz, "Antika seramik ve kimya", *Kimya ve Sanayi*, 16 (73), 29 – 38 (1968).

KISIM – 3

BUHAR TEKNOLOJİSİ

BÖLÜM – 9 : BUHAR MAKİNESİNİN DOĞUŞU

BÖLÜM – 10: BUHAR MAKİNESİNİN GELİŞİMİ VE BUHAR ÇAĞI



BÖLÜM – 9

BUHAR MAKİNESİNİN DOĞUŞU

BUHAR MAKİNESİ

Teknoloji tarihi içinde çok önemli bir yere sahip olan ve Sanayi Devrimi'nin temel dayanaklarından birini oluşturan buhar makinesi oldukça uzun bir teknolojik gelişmenin sonunda ortaya çıkmıştır.[1] Sanayi Devrimi buhar makinesinin bir ürünü olmayıp tam tersine buhar makinesi Sanayi Devrimi'nin ürünüdür. Buhar makinesi gelişiminin ardından XIX. yüzyılın başlarından itibaren temel enerji kaynağı olmaya başlamıştır.

Buhar makinesi ısı enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren bir makinedir. Bu dönüşüm suyun ısı enerjisi verilerek buhara dönüştürülmesi ve buharın basıncı yardımıyla bir işin yapılmasıyla gerçekleşir. Buhar makinelerinin verimi yani elde edilen işin verilen ısı enerjisine oranı oldukça düşüktür. Bunun başlıca nedeni makineden çıkan buharın henüz sıcak olması ve soğutma sırasında içerdiği ısı enerjisinin kaybedilmesidir. Makinelerin ve makine mühendisliğinin temel sorunları buhar makinesinin gelişimi sırasında çözülmüş ve bu bilgi birikimi daha sonra başta içten yanmalı motorlar olmak üzere çeşitli alanlarda kullanılmıştır. Buhar makinesinin veriminin arttırılması konusundaki çalışmalar termodinamiğin doğmasına neden olmuştur.

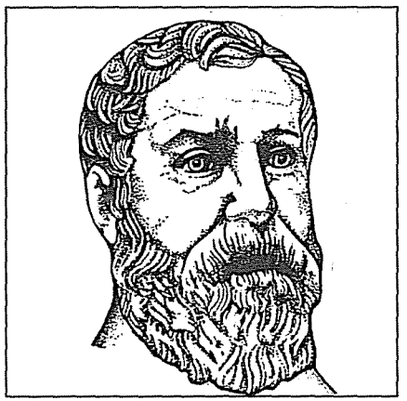
---

1 Bu konuda tekrarlanagelen efsanelerden birine göre evinin mutfağında oturmakta olan James Watt kaynamakta olan çaydanlığın kapağının çıkan buhar tarafından oynatıldığını gözlemiş ve bundan ilham alarak buhar makinesini icat etmiştir. Bunun benzeri olan bütünüyle gerçek dışı başka efsaneler de anlatılmaktadır.

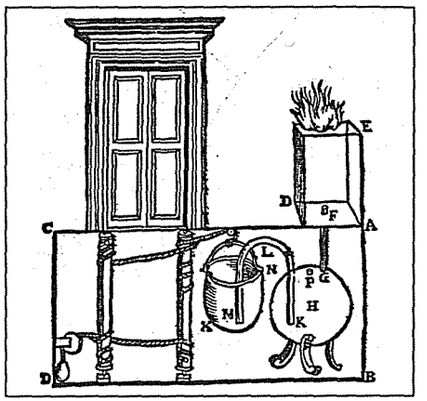
BUHARIN GÜCÜ KONUSUNDA İLK DENEMELER

İskenderiyeli Heron (İ.S. I. yüzyıl)

İskenderiye Okulu'nda hocalık yapan matematikçi ve mekanikçi Heron (İ.S. I. yüzyıl)[2] (Şekil – 9.1) bir bölümü buharla çalışan pnömatik otomatlar olmak üzere çeşitli otomatlar geliştirmiştir. Bunlardan biri kendiliğinden açılan tapınak kapılarıdır. Tapınak kapısının önündeki sunak üzerinde ateş yakılınca sunak içindeki hava genleşip alttaki kapalı kaptaki suyun üzerine basınç yaparak suyu bir sifon yardımıyla bir kap içine akıtmakta ve kaptaki suyun ağırlığı ile işleyen bir mekanizma ile kapılar açılmaktadır. (Şekil – 9.2).



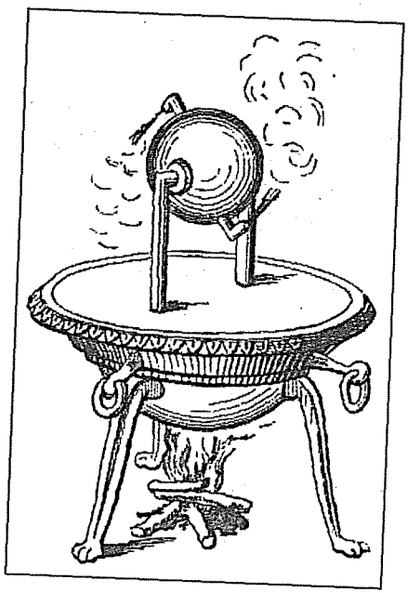
Şekil – 9.1: İskenderiyeli Heron. (İ.S. I. yüzyıl).



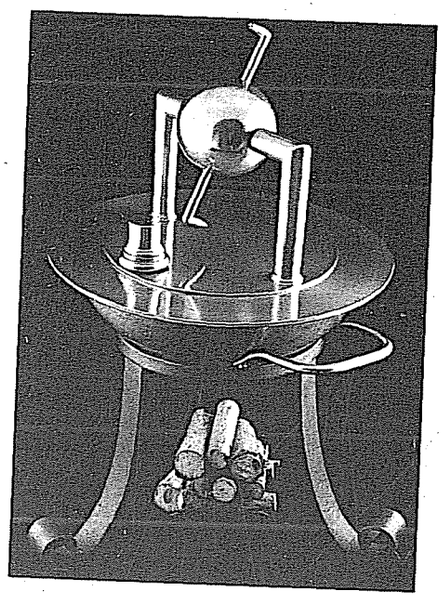
Şekil – 9.2: Heron'un kendiliğinden açılan tapınak kapıları. [Klemm, s. 32].

2 *İskenderiyeli Heron (İ.S. I. yüzyıl):* Matematik, fizik ve mekanik bilgini ve otomatik makine tasarımcısı olan Heron'un yaşamı konusunda yeterli bilgi mevcut değildir. İskenderiye Okulu'nda öğretmenlik yapan Heron'un tümünün kendisi tarafından yazılmış olduğu kuşkulu olan ve öğrenciler için ders kitabı olarak yazılmış olduğu anlaşılan on üç kitabı günümüze ulaşmıştır. Bunların başlıcaları geometrik hesaplamalara ilişkin *Metrika*, arazi ölçümüne ilişkin *Dioptra*, mimarlığa ve basit makinelere ilişkin *Mekhanika*, optikle ilgili *Katoptrika* ile çeşitli otomatik düzeneklerle ilgili *Pneumatica* ve *Automata* adlı kitaplarıdır. Bu son kitaplardaki mekanik düzeneklerin birçoğu İskenderiyeli Ctesibius ile Bizanslı Philon'un buluşlarından türetilmiş ise de kendi buluşları da vardır. Heron'un düzenekleri IX. yüzyılda Benî Musa kardeşler tarafından yeniden ele alınmış ve bu yolla da Avrupa'ya aktarılmıştır. [Day ve McNeil, s. 340].

Heron'un bir başka buluşu bir küreye takılmış uçlardan çıkan basınçlı buharın tepkisi ile dönen oyuncak niteliğindeki bir buhar topudur. (Şekil – 9.3 ve 9.4). Bu top ilkel bir buhar türbini olarak da düşünülebilir.



Şekil – 9.3: Heron'un buhar topu.



Şekil – 9.4: Heronun buhar topunun çalışır modeli.

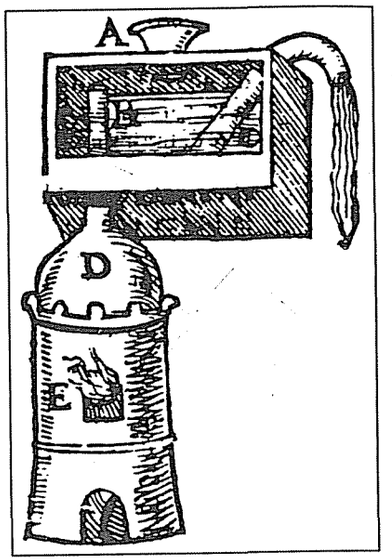
Giambattista Della Porta (1538 – 1615)

Çeşitli teknik buluşları olan İtalyan Giambattista (veya Giovanni Battista) Della Porta (1538 – 1615)[3] (Şekil – 9.5)

3 *Giovanni Battista (Giambattista) della Porta (1535 – 1615):* İtalyan doğabilimci Della Porta yaşamının hemen tümünü Napoli'de geçirdi. 1580'de evinde "Accademia dei Segreti" adında bir akademi kurdu. Engizisyon tarafından sorgulandı ve 1592 – 1598 yılları arasında kitapları yasaklandı. 1558'de yayınlanan *Magiae Naturalis* [Doğanın Sırları] adlı kitabında eğelerin ve çeliğin sertleştirilmesi, zırhlar ve mikroskop yapımı gibi çeşitli konulardan söz etti. Tarım ve bahçelere ilişkin kitaplar yayınladı. 1586'da yayınladığı *De Humana Physiognomonia* adlı kitabında insanların yüz yapıları ile hayvanların yüz yapıları arasında paralellikler kurdu. Buharla suyu yükselten düzeneğini 1601'de yayınlanan *Spiritali* adlı kitabında verdi. Bu düzenek daha sonra Edward Somerset ile Thomas Savery'nin buharlı su pompalarının temelini oluşturacaktır.[Day ve McNeil, s. 570].

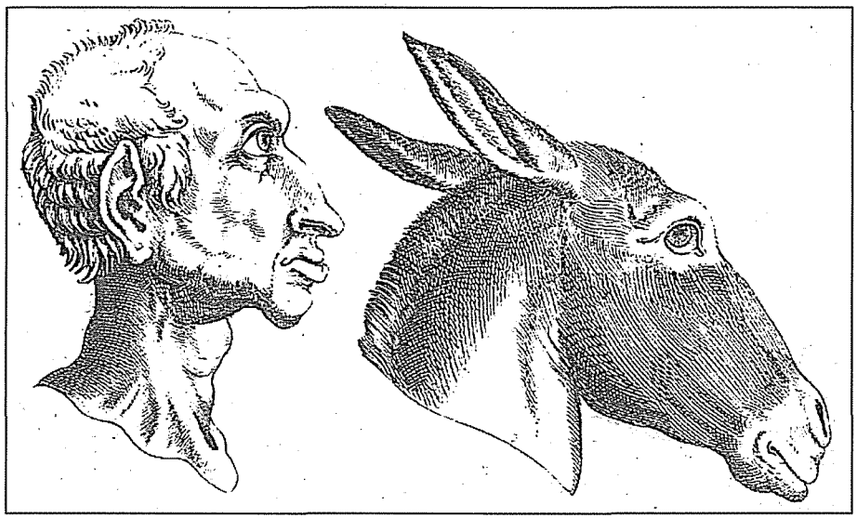
1601'de *Pneumaticorum* adı altında Latince ve 1606'da bunun *De Spiritali* adı altında yayınlanan İtalyanca çevirisinde ateş yardımıyla suyu yükseğe çıkarmak ve aynı zamanda suyun vereceği buhar miktarını ölçmek için bir düzenek tanımlamıştır. (Şekil – 9.6). Della Porta bir keresinde "şeytanla işbirliği yapma" gerekçesiyle kovuşturmaya da uğramıştır.

Şekil – 9.5: Giambattista (veya Giovanni Battista) Della Porta. (1538 – 1615).



Şekil – 9.6: Della Porta'nın ateş yardımıyla suyu yükseğe çıkaran buhar makinesi. [Wolf, II, s. 544].

Della Porta'nın tanımladığı düzenekde bir (B) kutusunun dibinden (D) balonunun ucu girer. (B) kutusuna eğik bir (C) akma borusu takılmıştır. (A) kapağından (B) balonunun ucunu örtmeyecek biçimde su konulur. Daha sonra (D) balonuna belirli miktarda su konularak ısıtılır. Oluşan buharın basıncı suyu (C) borusundan dışarı akıtır. Della Porta'nın sözleriyle "Buharlaşma bitince kutudan ne hacimde suyun aktığı ölçülür. Çünkü akan suyun yerine o miktarda hava girmiştir ve akan suyun miktarından buhar olan suyun o kadar havaya çevrilmiş olduğu anlaşılır."



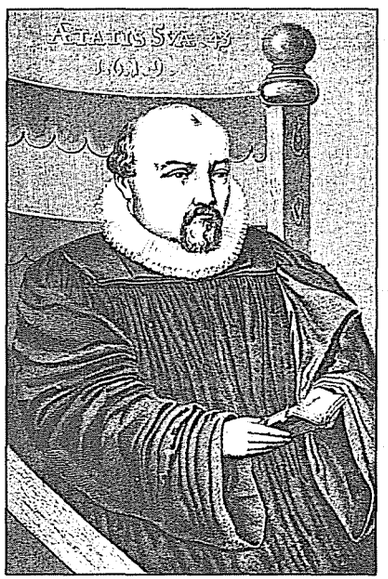
Şekil – 9.7: Della Porta'nın 1586'da yayınladığı *De Humana Physiognomonia* adlı kitabında insanların yüz yapıları ile hayvanların yüz yapıları arasında kurduğu paralelliklere bir örnek.

Jean Salomon de Caus (1576 – 1626)

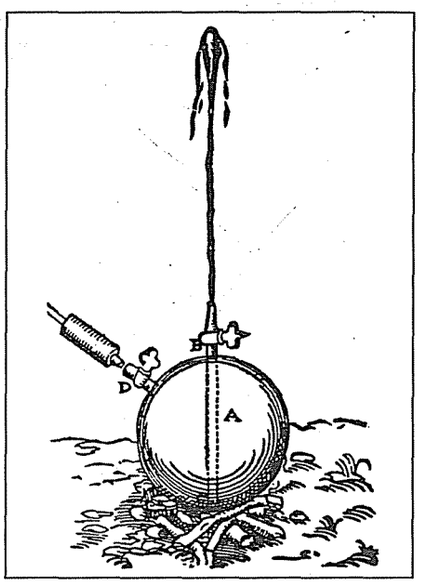
Fransız mimar ve mühendis Jean Salomon de Caus (1576 – 1626)[4] (Şekil – 9.8) 1615'de Frankfurt'da yayınlanan

4 *Jean Salomon de Caus (1576 – 1626):* Calvinist Protestan bir ailenin çocuğu olarak Normandy'de Dieppe'de doğdu. Ailesinin İngiltere'ye göçmesi sonucunda burada öğrenim gördü. 1595 – 1598 arasında İtalya'da bulundu, mekanik sanatlarını ve Floransa'daki bahçeleri inceledi. Burada bahçeler, bunlarla ilgili fıskiye gibi yapılar ve makineler tasarlayarak uyguladı. 1598 – 1610 arasında mühendis ve 1605'den sonra başmühendis olarak Hollanda valisi Avusturyalı Arşidük VII. Albert'in hizmetinde çalıştı. 1610'da İngiltere'ye dönerek Kral I. Charles ile Galler Prensi Henry'nin hizmetine girdi ve büyük bahçeleri düzenledi. 1613 – 1620 arasında Heidelberg'de Elektör V. Friedrich'in yanında mühendis ve mimar olarak ve 1620'den ölümüne dek Rouen ve Paris'de "Kralın mühendis ve mimarı" olarak çalıştı. İskenderiyeli Heron'dan etkilenerek mekanik çeşmeler, müzik aletleri ve diğer otomatlar konusunda çalışmalar yaptı. Su çarkı ile çalışan org, şarkı söyleyen kuşlar gibi otomatlar tasarladı. Bu konulardaki tasarım ve buluşlarını 1615'de Frankfurt'da yayınladığı *Raisons des Forces Mouvantes avec diverses machines tant utiles que plaisantes* [Yararlı ve hoş çeşitli makineler ile hareket eden kuvvetler için nedenler] adlı kitabında topladı.

kitabında suyun ısıyla yükseltilmesini amaçlayan bir buharlı fiskiye tanımlamıştır. (Şekil – 9.9). Burada üzerinde bir (D) musluğu bulunan bakırdan yapılmış (A) küresine bu musluktan kısmen su doldurulur ve musluk kapatılır. Kürenin dibine yakın bir düzeye kadar inen (BC) borusunun (B) musluğu kapalıyken küre alttan ısıtılır. Daha sonra (B) musluğu açıldığında küre içindeki su fışkırır. Salomon de Caus'un bu buluşu Heron'un buluşunun yenilenmesidir.



Şekil – 9.8: Jean Salomon de Caus. (1576 – 1626).



Şekil – 9.9: Salomon de Caus'un buharlı fiskiyesi. [Wolf, II, s. 544].

Evangelista Torricelli (1608 – 1647)

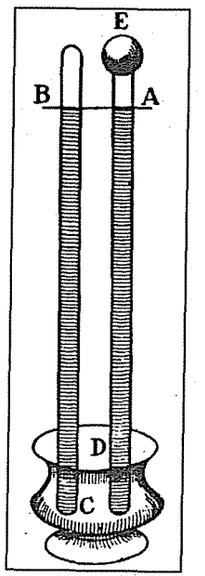
İtalyan Evangelista Torricelli (1608 – 1647)[5] (Şekil – 9.10) açık hava basıncının varlığını göstermek için 1644'de

5 *Evangelista Torricelli (1608 – 1647):* Fakir bir aileden gelen İtalyan matematikçi ve fizikçi Torricelli Galileo Galilei'nin (1564 – 1642) öğrencisi matematikçi ve mühendis Benedetto Castelli'nin öğrencisi ve daha sonra Galileo'nun izleyicisi oldu. Matematik yanında astronomi ve özellikle akışkanlar mekaniği ile ilgilendi. Rüzgârların dünyanın farklı bölgelerindeki havanın sıcaklık ve yoğunluğunun farklı olmasından

Floransa'da yaptığı ünlü deneyinde bir ucu kapatılmış bir cam boruyu cıva ile doldurup bir cıva havuzu üzerinde ters çevirdiğinde cıvanın belirli bir düzeye kadar indiğini gözledi. (Şekil – 9.11).

Cıva sütununu dengeleyen açık hava basıncıydı ve cıva sütununun yaptığı basınca eşitti. Deneyini bir dağa çıkarak tekrarlayan Torricelli deniz seviyesinden yükseldikçe açık hava basıncının azaldığını ortaya koydu.

Şekil – 9.10: Evangelista Torricelli. (1608 – 1647).



Şekil – 9.11: Torricelli'nin barometresi. [Wolf, I, s. 92].

Torricelli'nin deneyinin asıl önemli sonucu borunun içindeki cıva sütununun üzerinde boşluğun (vakumun) oluşmasıdır. Bu deney Aristoteles'in (İ.Ö. 384 – 322) dediklerinin aksine doğada boşluğun var olabileceğini yani doğanın boşluktan nefret etmediğini gösterdi.

kaynaklandığını ortaya koydu. Bir emme tulumbanın neden dolayı 10 metreden daha derinden su çekemediğini araştırmaya girişerek 1644'de ünlü barometre deneyini yaptı ve bunun sonucunda "bir hava denizinin dibine batmış şekilde yaşıyoruz" ifadesini kullandı. Bu çalışmalarını 1644'de *Opera Geometrica* adı altında yayınladı. 1642'de iyi teleskop mercekleri üretti. [Day ve McNeil, s. 708 – 709].

Otto von Guericke'nin boşluk üzerine deneyleri

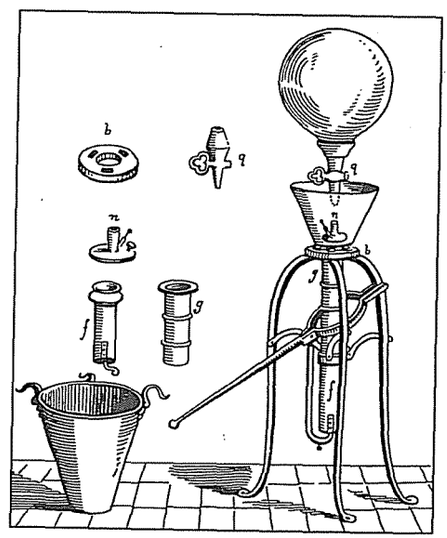
Almanya'nın Magdeburg kentinin belediye başkanı olan Otto von Guericke (1602 – 1686)[6] (Şekil – 9.12) boşluğun varlığını ve gücünü kanıtlamak için yaptığı deneyler sonucunda Aristoteles'in felsefesinden kaynaklanan doğanın boşluktan nefretini belirten "Horror vacui" düşüncesini yıkmış ve görüşünü, "Deneye dayanan bir ispat her türlü mantıki sonuçlara üstün tutulmalıdır" biçiminde ortaya koymuştur. Deneylerini 1672'de yayınlanan *Experimenta Nova Magdeburgica de Vacuo Spatio* [Boşluğun Varlığı Üzerine Yeni Magdeburg Deneyleri] adlı kitabında toplamıştır. (Şekil – 9.13). Guericke boşluk elde edebilmek için kapalı bir kabın içine su doldurup daha sonra bu suyu bir pompa yardımıyla boşaltma yoluna gitmiştir. (Şekil – 9.14). Deneyi önce ahşap bir fıçı ile yapmış fakat aralıklardan içeri hava girmesi sonucunda başarısız olup ikinci kez deneyi bir bakır küre ile yapmış ve

6 *Otto von Guericke (1602 – 1686):* Magdeburg'lu Guericke 1617 – 1622 yılları arasında Leipzig, Helmstadt ve Jena Üniversitelerinde hukuk öğrenimi gördükten sonra 1622'de Leyden'e giderek burada matematik, mühendislik ve istihkâmcılık öğrenimi gördü. Fransa ve İngiltere'yi dolaştıktan sonra Magdeburg'a dönerek Belediye Meclis üyeliğine seçildi. Bir Protestan kenti olan Magdeburg Otuz Yıl Savaşları sırasında 1631'de kuşatılarak yağmalandı. Kentten ayrılan Guericke bir süre İsveç ordusunda ve daha sonra Saksonya elektörünün hizmetinde çalıştıktan sonra kurtarılan Magdeburg'a geri dönerek 1646'da belediye başkanı seçildi ve bu görevini 1676'ya kadar sürdürdü ve 1681'de Hamburg'a gitti. Bilimsel çalışmalarını da siyasal yaşamı ile birlikte sürdürdü. Daha öğrencilik yıllarından itibaren boşluk üzerine düşünmeye ve çalışmaya başladı. 1647'de su doldurduğu bir fıçının içindeki suyu bir pompayla boşaltarak boşluk oluşturmaya çalıştı fakat içeri hava sızdığından başarısız oldu. Aynı deneyi bir bakır küre ile tekrarladı. 1654'de içini boşalttığı bir silindirin pistonunun aşağıya inmesini önlemek için 15 kişinin gücüne gerek olduğunu gösterdi. Magdeburg küreleri adı verilen iki yarım küreden oluşan 30,5 cm çapındaki kürenin içindeki havayı boşaltınca her bir yarım küreyi sekizer at çektiği halde bunların birbirinden ayrılamadığını 1657'de Magdeburg'da gösterdi ve deneyi 1663'de Berlin'de tekrarladı. Boşluk konusundaki çalışmalarını 1672'de yayınlanan *Experimenta Nova Magdeburgica de Vacuo Spatio* [Boşlugun Varlığı Üzerine Yeni Magdeburg Deneyleri] adlı kitabında topladı. Torricelli'nin deneyini 1653'de öğrendi ve 1660'da barometre ile hava tahmin yöntemi geliştirdi. Statik elektrik ile de ilgilenerek elektrik üretmek üzere döner bir kükürt küre de yaptı. [Day ve McNeil, s. 308 – 309].

boşaltma sonucunda kürenin ezildiğini gözlemiştir. (Şekil – 9.15).

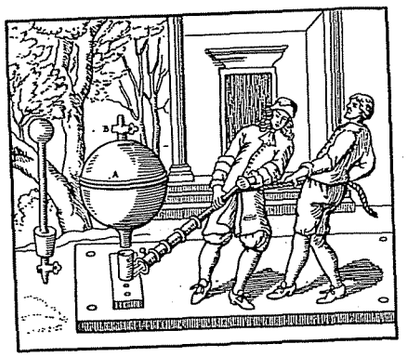
Şekil – 9.12: Otto von Guericke. (1602 – 1686). [Matschloss, s. 73].

Şekil – 9.13: Guericke'nin *Experimenta Nova Magdeburgica de Vacuo Spatio* adlı kitabının kapak sayfası.

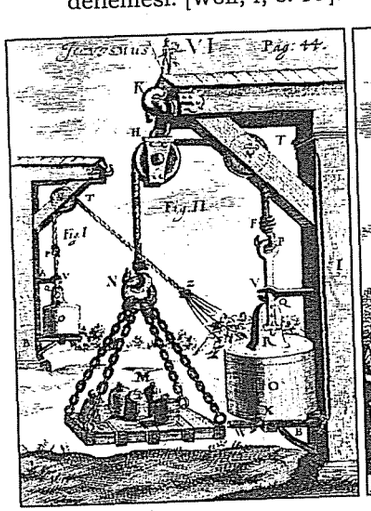


Şekil – 9.14: Guericke'nin gelişmiş hava boşaltma tulumbası. [Wolf, I, s. 106].

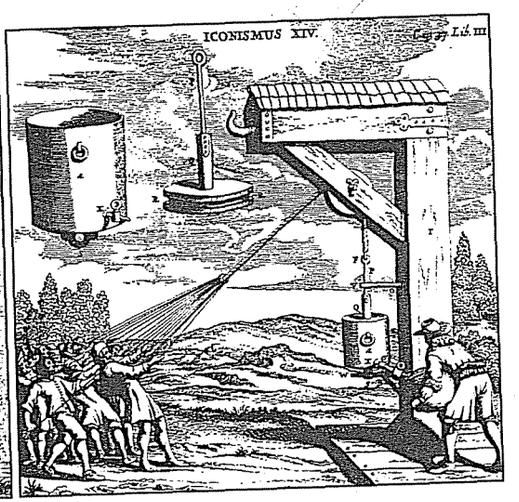
Şekil – 9.15: Guericke'nin ahşap bir fıçı kullanarak yaptığı ve başarısız olan ilk boşaltma denemesi. [Wolf, I, s. 99].



Şekil – 9.16: Guericke'nin bakır bir küre kullanarak yaptığı ikinci boşaltma deneyi. [Wolf, I, s. 100].



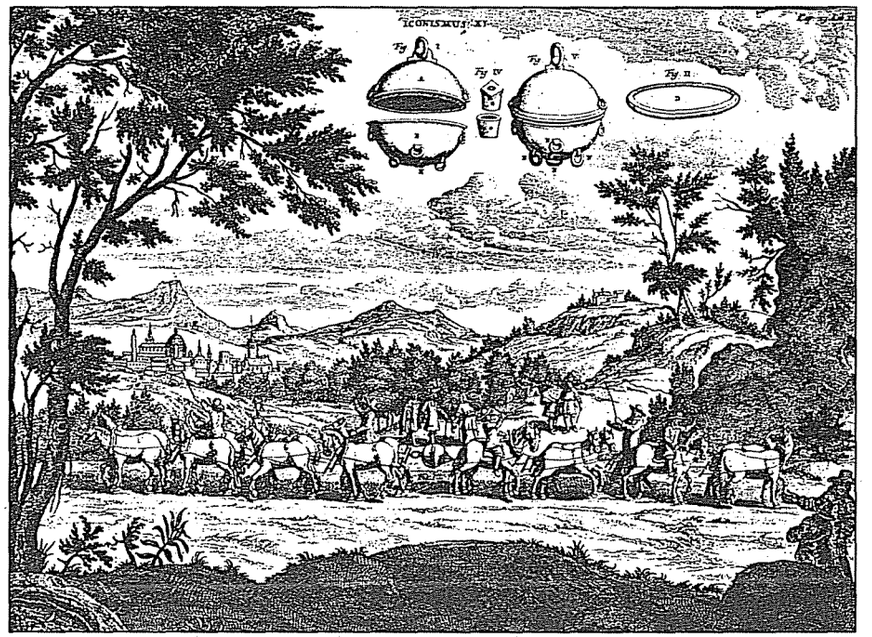
Şekil – 9.17: Havası boşaltılmış bir silindirin pistonu üzerine etkiyen açık hava basıncının ağırlıklar konularak dengelenmesi ve değerinin ölçülmesi. (1654). [Verchmin ve Radkau, s. 87].



Şekil – 9.18: Havası boşaltılmış bir silindirin pistonu üzerine etkiyen açık hava basıncının pistona verdiği hareketin 20 güçlü adam tarafından engellenemediğini ve boşluğun gücünü gösteren piston deneyi. (1654). [Briggs, s. 22].

Evangelista Torricelli'nin 1644'de ünlü deneyini yaparak açık hava basıncının ve boşluğun varlığını ortaya koyması ve

Guericke'nin açık hava basıncının gücünü kanıtlaması buhar makinesinin gelişimi için temel oluşturmuştur.



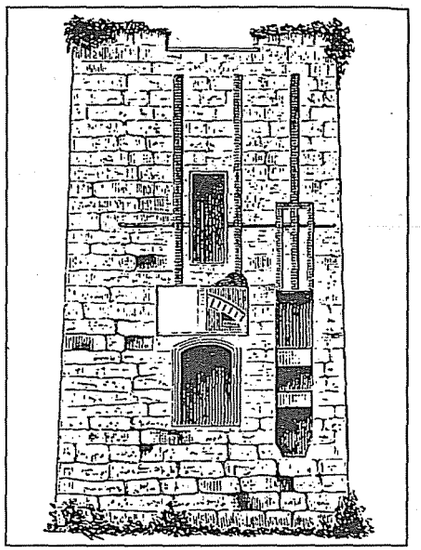
Şekil – 9.19: Guericke'nin boşluğun varlığını ve hava basıncının gücünü göstermek için yaptığı "Magdeburg yarım küreleri" deneyi. (1657). Yaklaşık 30,5 cm çapında bir kürenin iki yarısı aradan hava sızmayacak biçimde birleştirilip içindeki hava boşaltıldıktan sonra yarım küreler her iki taraftan sekizer at ile çekildikleri halde ayrılmazlar. Buna karşılık kürenin musluğu açılıp içeri hava girince kendiliğinden ayrılırlar. [Kiaulehn, s. 5].

Şekil – 9.20: Demokratik Alman Cumhuriyeti'nde çıkartılmış bir posta pulu.

Edward Somerset (1601 – 1667)

Bir yandan siyasetle ilgilenirken öte yandan da çeşitli icatlar üzerinde çalışan bir soylu olan 2. Worchester Markisi Edward Somerset (1601 – 1667)[7] (Şekil – 9.21) buluşlarını 1655'de yazılıp 1663'de basılan *A Century of the Names and Scantlings of Inventions by Me Already Practised* adlı kitabında topladı. Burada suyu buharla yükselten bir makine tanımlanmıştır. Günümüzde Raglan Castle'ın duvarında bu makinenin kurulmuş olduğu yerin izleri vardır. (Şekil – 9.22).

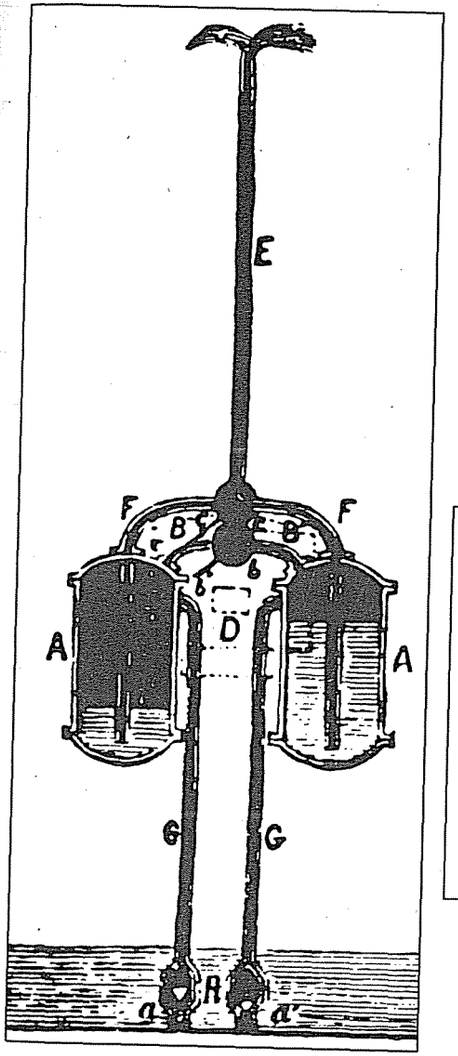
Şekil – 9.21: Edward Somerset. (1601 – 1667).



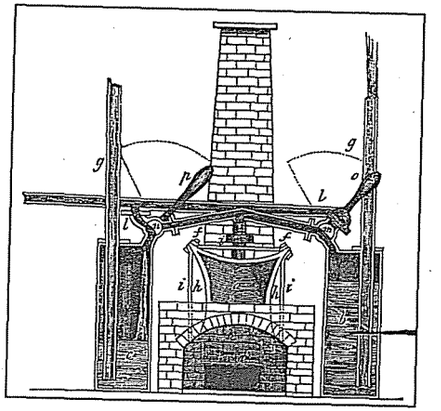
Şekil – 9.22: Raglan Castle'ın duvarındaki izler.

7 *Edward Somerset (1601 – 1667):* 2. Worchester Markisi unvanına sahip bir soylu olan Somerset 1626'da Hollandalı usta Caspar Kaltoff'u işe alarak Raglan Castle'da kurduğu atölyede çalışmalara başladı. Burada 4,3 m çapında bir tekerlek içeren devridaim makinesi yaparak 1638'de Kral I. Charles'a gösterdi. İç savaş sırasında kralcıların tarafında olduğundan Oliver Cromwell'in duruma egemen olması üzerine Fransa'ya kaçarak 1846 – 1852 yılları arasında burada yaşadı. Dönüşünde önce Raglan Castle ve ardından Londra'da Vauxhall Hause'da bir atölye kurarak çalışmalarını sürdürdü ve 1656'da buhar basıncı ile suyu 40 ft (12 m) yükseğe çıkartan buharlı pompayı yaparak 99 yıllık patent aldı ve bu buluşunu 1663'de yayınladı. Bunun dışında kendisinin yüzden fazla buluşu bulunmaktadır. [Day ve McNeil, s. 657].

Somerset'in tanımladığı bu makinenin deneysel amaçla yapıldığı ve suyu 40 feet (12,6 m) yükseğe çıkardığı konusunda 1663 ve 1669 yıllarına ilişkin tanıklıklar vardır. Bu makine Giambattista Della Porta ile Salomon de Caus'un buluşlarının geliştirilmiş biçimidir. Makine bir kişi tarafından buhar vanaları elle açılıp kapatılarak yönetilir. (Şekil – 9.23 ve 9.24).



Şekil – 9.23: Edward Somerset'in buharlı pompası: (A) kapları arkadaki kazana bir buhar borusu ile bağlıdır ve (D) ocaktır. (E) düşey su borusu (A) kaplarına (F) boruları ile bağlanmıştır. Su (H) kuyusuna daldırılmış ve uçlarında (a) valfları olan (G) boruları ile çekilir. Buhar sırayla (A) kaplarına verilir. Kapların biri yoğunlaşan buharın oluşturduğu boşluk nedeniyle yükselen su ile dolarken öteki kaba buhar verilerek su yukarıya basılır. [Wolf, II, s. 547].

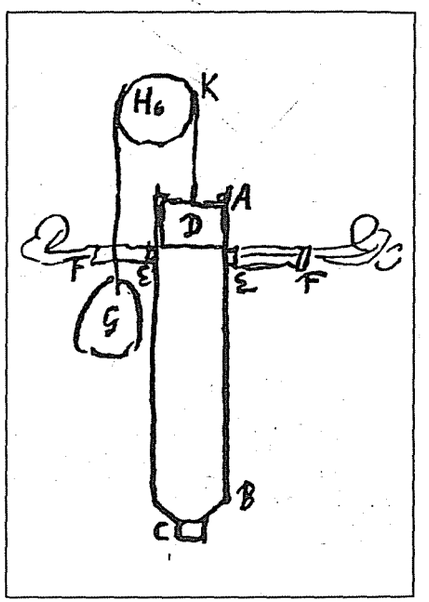


Şekil – 9.24: Somerset'in makinesinin kumanda bölümü. Burada bulunan bir kişi elle kaplara giden buhar vanalarını açıp kapayarak makineyi yönetir.

Christian Huygens (1629 – 1695)

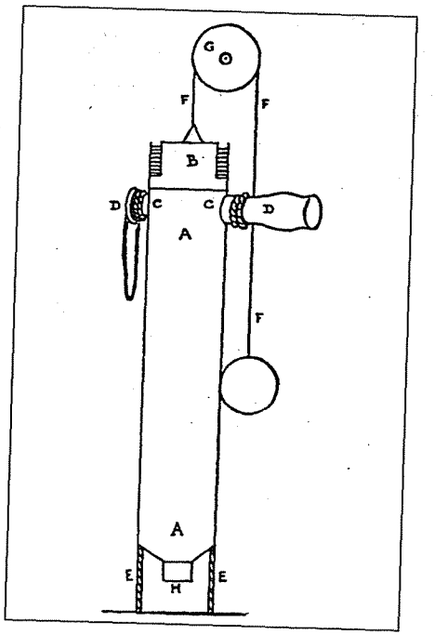
Matematikçi ve fizikçi Hollandalı bilim adamı Christian Huygens (1629 – 1695)[8] (Şekil – 9.25) Fransa Kralı XIV. Louis'nin Versailles Sarayı'nın bahçelerindeki fıskiyelere su sağlamak için barutla çalışan bir makine geliştirdi. Huygens tarafından 1680 yılında gerçekleştirilen bu makine barut gazlarının genleşme gücünden yararlanarak silindir ve piston ile çalışan ilk gaz makinesi ve içten yanmalı motorların atasıdır. (Şekil – 9.26 ve 9.27). Bu makine yalnız deney aşamasında kalmış olup kurulup işletilmemiştir.

Şekil – 9.25: Christian Huygens. (1629 – 1695).



Şekil – 9.26: Huygens'in barutla çalışan makinesinin kendisi tarafından 1673'de yapılmış olan tasarımı. [Klemm, s. 116].

8 *Christian Huygens (1629 – 1695):* Hollandalı olan Huygens 1645 – 1647 yılları arasında Leyden Üniversitesi'nde hukuk ve matematik öğrenimi gördü. Çalışmalarını matematik, astronomi, optik ve mekanik alanlarında sürdürdü. 1666'da Paris'deki Académie des Sciences [Bilimler Akademisi]'ne ve 1681'de Royal Society'ye üye seçildi. Sarkaç ve sarkaçlı saatler üzerinde çalıştı ve ışık için kendi adıyla anılan bir dalga teorisi ortaya koydu. [Day ve McNeil, s. 365 – 366].



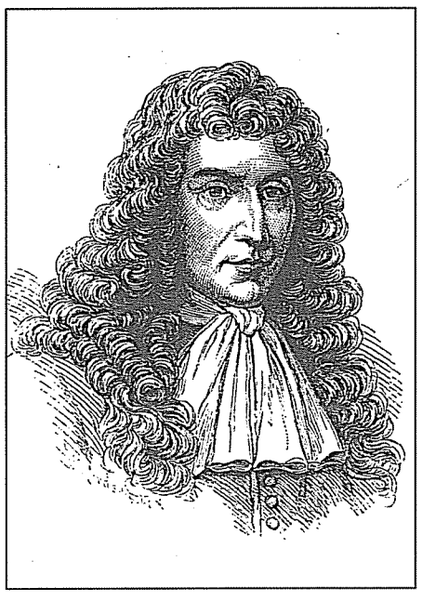
Şekil – 9.27: Huygens'in makinesi: (A) silindiri içindeki (B) pistonu aşağıdayken (H) ya konulan barut bir fitil ile ateşlenir. Patlamadan oluşan gazlar pistonu yukarı sürer ve bu arada gazların fazlası (D) deki kösele supaplardan dışarı atılır. Makine soğuduğunda (A) silindirindeki basınç azalır ve atmosfer basıncı pistonu aşağıya doğru iterken bir (G) makarası üzerinden pistona bağlı olan ağırlık yukarı çekilir. [Wolf, II, s. 548].

Denis Papin (1647 – 1712)

Aslen bir Fransız olan Denis Papin (1647 – 1712)[9] (Şekil – 9.28 ve 9.29) Paris'de Huygens'in asistanlığını yaptıktan sonra 1675'de İngiltere'ye giderek Robert Boyle'un (1627 – 1691) yanında çalıştı. 1680'de Royal Society'ye üye seçildi. Robert Boyle'un yanında çalışırken suyun kaynama noktasının basınçla birlikte arttığını öğrenerek et ve sebzelerin yüksek

9 *Denis Papin (1647 – 1712):* Angers Üniversitesi'nde tıp öğrenimi gördü. Fizik ve mekaniğe olan ilgisi nedeniyle 1673'de Leyden'de Christian Huygens'in ve 1675'de Londra'da Robert Boyle'un yanında çalıştı. 1780'de Royal Society'ye üye seçildikten sonra 1780 – 1784 arasında Venedik'de Ambrose Serotti'nin akademisinde çalıştı, 1684'de Londra'ya döndü ve 1687'de Almanya'da Marburg Üniversitesi'ne matematik ve fizik profesörü oldu. 1695'de üniversiteden ayrılarak Hessen prensinin hizmetine girdi ve 1707'de Londra'ya dönerek burada yoksulluk içinde öldü. En önemli buluşlarından biri Londra'daki fakirlere atık kemiklerden çorba yapmak için tasarladığı ve "Papin tenceresi" adıyla anılan yüksek basınçlı tenceredir. İkinci önemli buluşu pistonlu bir buhar makinesi olmakla birlikte bu makine pratik olarak gerçekleşememiştir. [Day ve McNeil, s. 538].

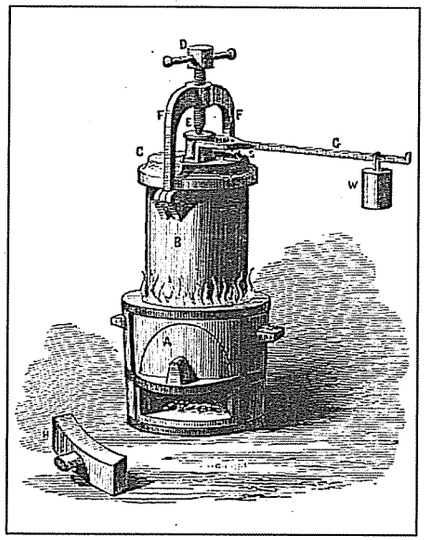
basınç altında yani 100 °C nin üzerindeki sıcaklaklarda daha iyi pişeceğini düşündü. Buradan yola çıkarak fakirleri beslemek için atık kemiklerden çorba yapmak amacıyla 1681'de yaptığı ve *digester* [sindirici] adını verdiği basınçlı tencere ile ilgili buluşunu *New Digester for Softening Bones* [Kemikleri Yumuşatmak İçin Yeni Sindirici] adıyla yayınladı. (Şekil – 9.30 ve 9.31).



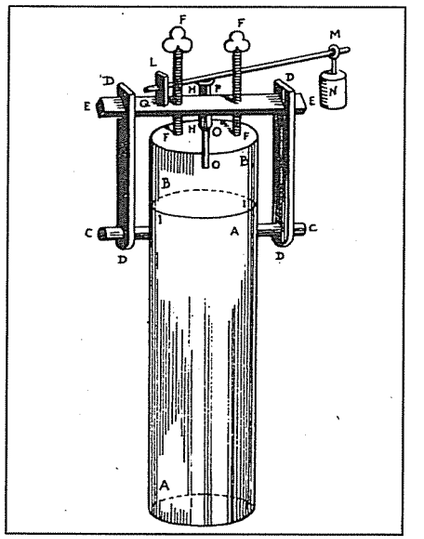
Şekil – 9.28: Denis Papin. (1647 – 1712).

Şekil – 9.29: Denis Papin için çıkartılmış olan bir Fransız posta pulu.

Papin birkaç yıl İtalya'da kaldıktan sonra 1687'de yeniden İngiltere'ye dönmekle birlikte aynı yıl Almanya'daki Marburg Üniversitesi'ne matematik profesörü oldu ve burada uzun süre keldı. Papin öncelikle Huygens'in barutla işleyen makinesini geliştirdi. (Şekil – 9.32). Makinenin dibindeki vida yerine bir kaldıraç ile dibe bastırılan küçük bir kap koydu. Pistonu delip buraya bir supap takarak meşin supapları kaldırdı. Böylece, barut miktarının yanlış hesaplanmasından kaynaklanan kazaları giderdi.



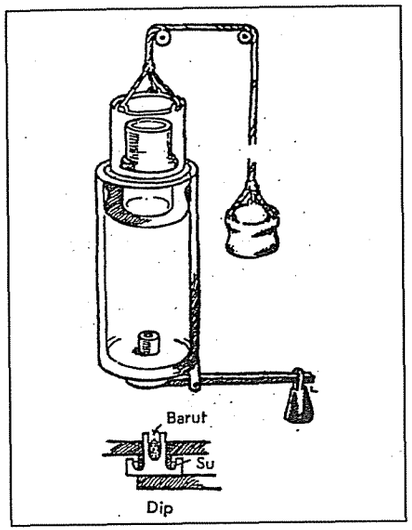
Şekil – 9.30: Papin'in basınçlı tenceresi. [Kiaulehn, s. 103].



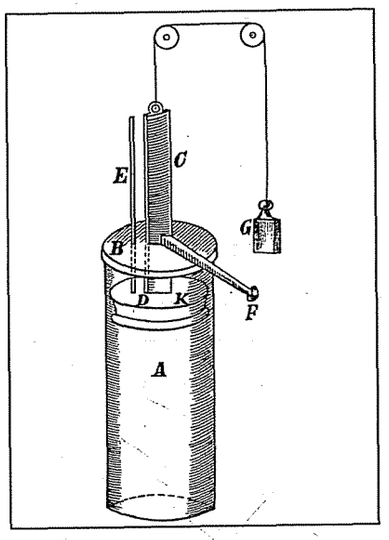
Şekil – 9.31: Papin'in basınçlı tenceresi ve emniyet supabı. [Wolf, II, s. 549].

Papin daha sonra Huygens'in barutla çalışan makinesi yerine buharın yoğunlaşması sonucunda boşluk oluşmasına dayanan ilk pistonlu buhar makinesini yaptı. Bu buluşunu Leipzig'de yayınlanan *Acta Eruditorum* (Ağustos 1690, s. 410) adlı dergide "Nova methodus ad vires motrices validissimas levi pretio comparandas" [Uygun büyüklükteki hareket ettirici kuvveti ucuz olarak sağlamada yeni bir yöntem] adı altında yayınladı. Makine metal bir silindir ile içindeki pistondan oluşuyordu. (Şekil – 9.33 ve 9.34).

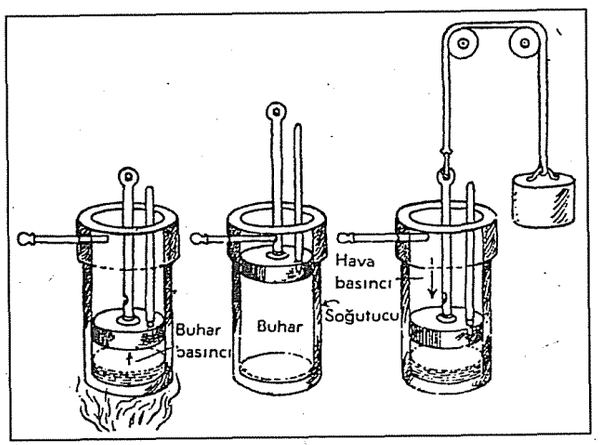
Makinenin silindirinin çapı 2,5 parmak (6,35 cm) idi ve dakikada 60 libre (27,24 kg) yük kaldırıyordu. Papin, çapı 2 ayaktan (61 cm) daha büyük çaplı bir silindirin 4 ayak (1,22 m) hareket etmesi durumunda dakikada 8000 libre (3632 kg) yükü 4 ayak (1,22 m) yüksekliğe kaldırabileceğini hesapladı. Bununla birlikte, bu konudaki başlıca güçlüğün böyle büyük silindirlerin yapımında olduğunu da belirtmiştir.



Şekil – 9.32: Denis Papin'in barutla çalışan makinesi. [Kiaulehn, s 111].

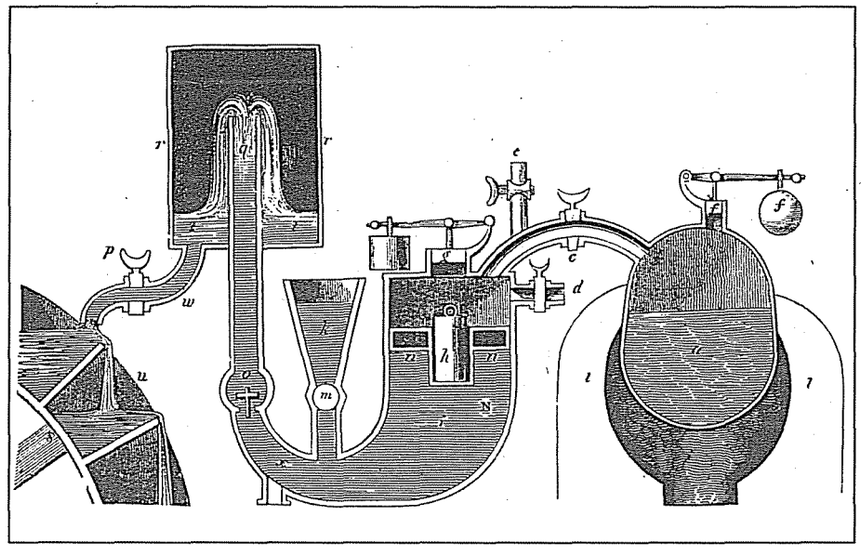


Şekil – 9.33: Papin'in pistonlu atmosferik buhar makinesi, [Grunmach ve Rosenboom, s. 675].



Şekil – 9.34: Denis Papin'in ilk atmosferik buhar makinesi (1690). [Kiaulehn, s 114]. Silindirin içine su konulup silindirin yanındaki delik havanın çıkmasından sonra kapatılır ve silindir ateşte ısıtılır. Buharın etkisi ile silindirin ağzına kadar yükselen piston özel bir düzenekle durdurulur, silindir dıştan su ile soğutulur ve oluşan vakum nedeniyle piston açık hava basıncı tarafından aşağıya itilir. Papin daha sonra hava deliğini pistona deldi ve havanın çıkmasının ardından delik bir pirinç çubuk ile kapatılıyordu.

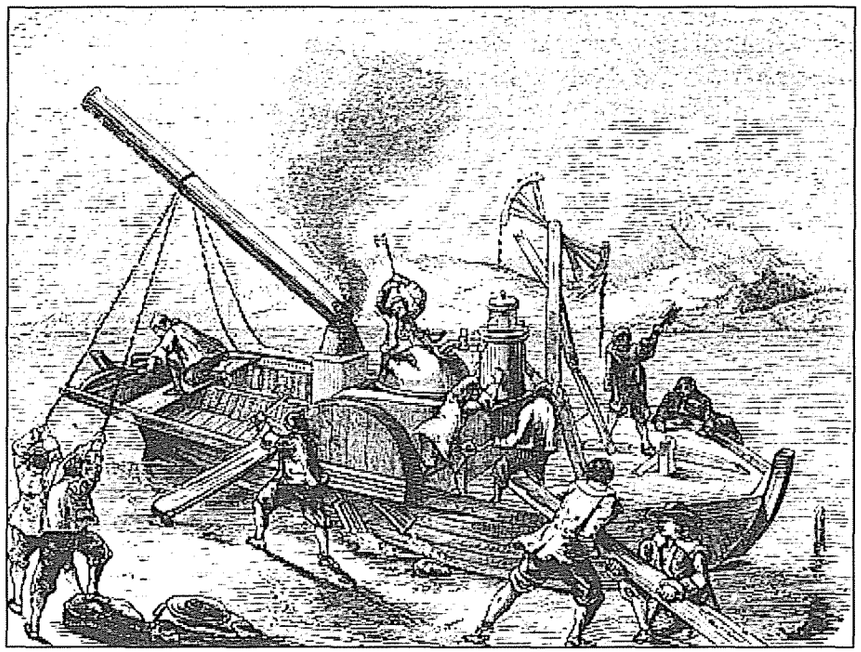
Thomas Savery'nin buluşundan etkilenen Papin 1705'de buharla çalışan bir su tulumbası yaptı. (Şekil – 9.35). Bu makineyi 1707 yılında Cassel'de yayınladığı "Nouvelle maniére pour lever l'eau par la force de feu" adlı yazısında tanımladı



Şekil – 3.35: Denis Papin'in buharlı tulumbası. (1705). [Balsöz, s. 5]. Silindirinin içinde bulunan piston buharla suyun temasını önler. Kazandan gelen ve piston üzerine etkiyen buhar pistonu aşağıya doğru iter ve bunun sonucu olarak yukardaki kabın içersine yükselen su buradan sürekli olarak akarak su çarkını döndürür. Silindirde iş gören buhar tahliye borusunun musluğu açılarak yoğunlaşmaksızın dışarı verilir. Buharın sıcaklığını korumak amacıyla pistonun ortasına sıcak bir demir kütlesi konulur.

Papin'in makinesi yardımıyla yükseğe su pompalamak girişimi ise yeterli dayanıklılıkta boruların yapılamaması nedeniyle başarısızlığa uğramıştır.

Denis Papin 1707'de bu makinesini Cassel'deki Fulda ırmağındaki bir tekneye yerleştirdiği su çarkını ve buna bağlı pedalları çalıştırmak ve böylece tekneyi suda yürütmek için kullandı. Ancak bu gemi ırmakta taşımacılık yapanlar tarafından rakip olarak görülerek saldırıya uğradı ve parçalandı. (Şekil – 9.36).



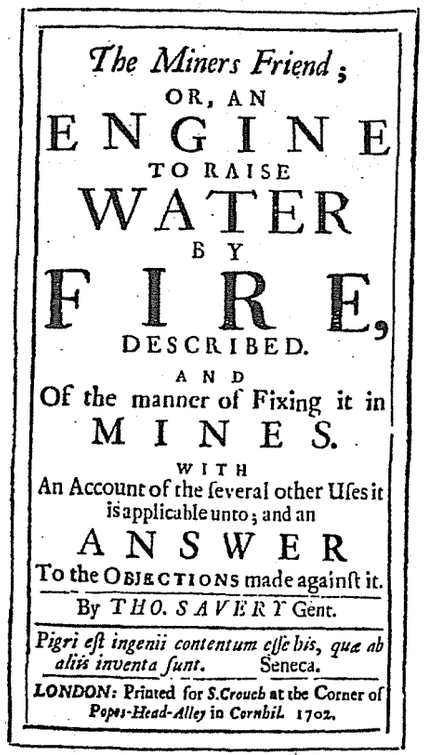
Şekil – 9.36: Denis Papin'in buharlı gemisinin parçalanmasını gösteren temsili bir resim. [Figuier, s. 201].

THOMAS SAVERY (1650 – 1715) VE BUHARLI POMPASI

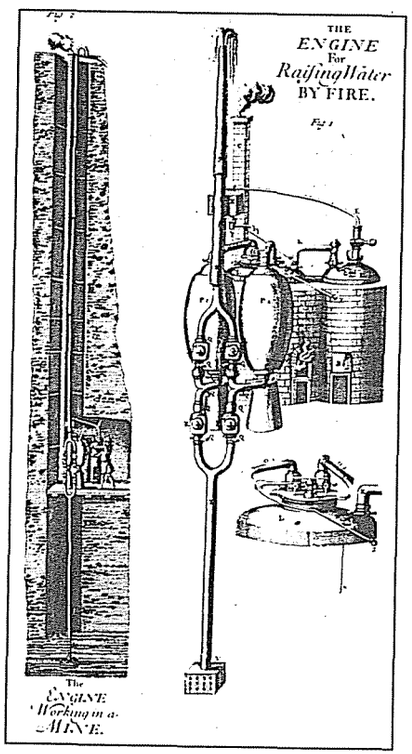
Devonshire'in köklü ailelerinden birinden gelen Thomas Savery (1650 – 1715)[10] (Şekil – 9.40) döneminin önde gelen mucitlerinden biriydi ve bütün parasını buharlı pompasını geliştirmek için harcadı. Pompasının bir modelini 1698'de Hampton Court Palace'da Kral III. William'a gösterdikten sonra

10 *Thomas Savery (1650 – 1715):* Yaşamının ilk yılları konusunda bir bilgi olmadığı gibi askerlik ile bir ilişkisi olmamakla birlikte adının başında kullandığı "Captain" [Yüzbaşı] unvanının kaynağı da belirsizdir. Bunun madencilik alanında bir görevi belirttiği düşünülmektedir. Savery yaşamı boyunca yedi tane patent almış ve 1706'da Royal Society'ye üye seçilmiştir. 1694'de düz pencere camlarının cilalanması, 1697'de gemilerin çarklar yardımıyla yürütülmesi gibi patentlerinin ardından 1698'de basınçlı buhar ile suyun yükseltilmesine ilişkin buharlı pompayı yaparak 1699 – 1733 dönemi için patentini almıştır. Makinesi beklediği gibi yaygınlaşmamıştır. [Day ve McNeil, s. 624 – 625].

patentini aldı. Buharlı pompasını tanımlamak ve tanıtmak üzere 1702'de *Miner's Friend* [Madencinin Dostu] adlı bir kitap yayınladı ve pompanın bir resmini verdi. (Şekil – 9.37 ve 9.38). Kitaba "Several objections against the working this engine answered in a dialogue between a miner and the author" [Bu makinenin çalışmasına karşı çeşitli itirazların bir madenci ile yazar arasındaki bir diyalogda cevaplandırılması] başlıklı bir bölüm ekledi.


The Miners Friend;
OR, AN
ENGINE
TO RAISE
WATER
BY
FIRE,
DESCRIBED.
AND
Of the manner of Fixing it in
MINES.
WITH
An Account of the ſeveral other Uſes it is applicable unto; and an
ANSWER
To the OBJECTIONS made againſt it.
By THO. SAVERY Gent.
Pigri eſt ingenii contentum eſſe his, quæ ab aliis inventa ſunt. Seneca.
LONDON: Printed for S. Crouch at the Corner of Pope's-Head-Alley in Cornhil. 1702.

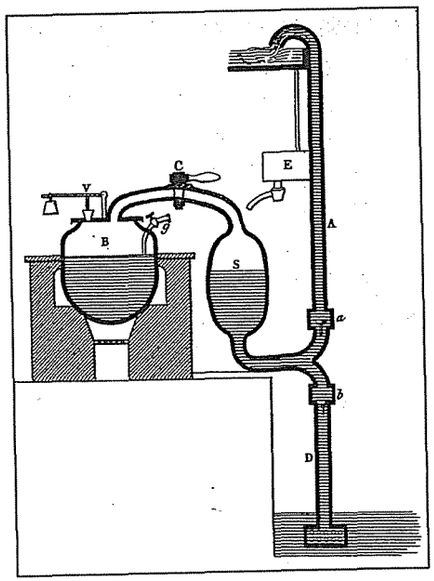
Şekil – 9.37: Savery'nin buharlı pompasını tanımlamak ve tanıtmak üzere yayınladığı *Miner's Friend* [Madencinin Dostu] adlı kitabın kapağı.



Şekil – 9.38: Savery'nin buharlı pompası için *Miner's Friend* [Madencinin Dostu] adlı kitabında bir levha olarak verdiği resim.

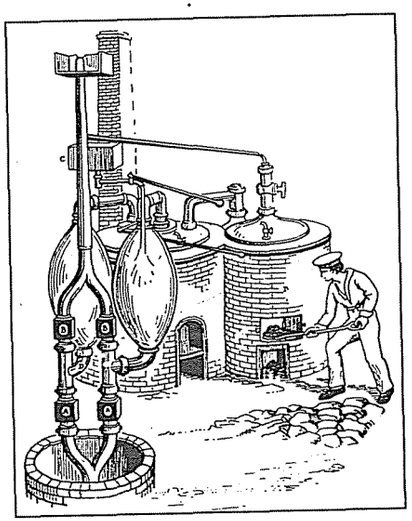
Thomas Savery'nin ortaya koyduğu buharlı pompa Edward Somerset'in buharlı pompasından çok farklı olmamakla birlikte Savery tarafından tanıtımının iyi yapılmış

olduğu görülmektedir. Ancak bu pompa Savery'nin beklediği gibi yaygınlaşmamıştır. Pompanın çalışma ilkesi **(Şekil – 9.39)**'da gösterilmiştir.

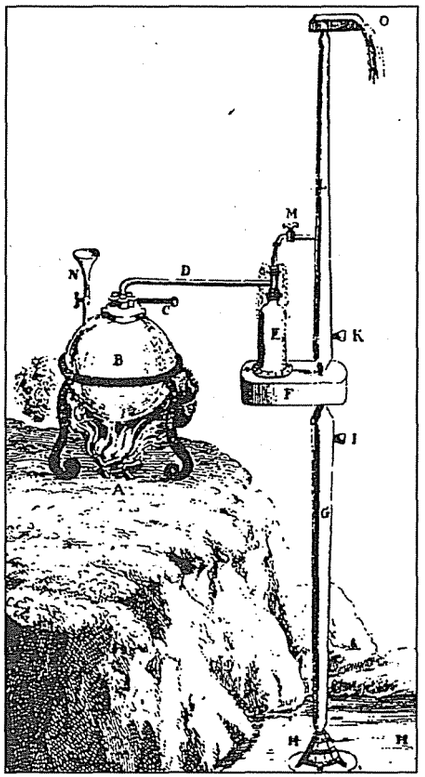


Şekil – 9.39: Savery'nin buharlı pompa makinesinin çalışma ilkesi. El ile denetlenen (C) musluğu açılınca (B) kazanındaki buharın basıncı (S) kabında bulunan suyu (A) borusundan yukarı çıkartır ve basınç nedeniyle (b) valfi kapanır. (S) deki su boşalınca (C) musluğu kapatılır. (S) kabı (E) den akıtılan su ile dıştan soğutulur, yoğunlaşan buharın oluşturduğu vakum nedeniyle atmosfer basıncının etkisiyle (D) borusundan yükselen su (b) valfını açarak (S) kabını doldurur. İşlem bu şekilde ardı ardına tekrarlanır. Burada (V) emniyet supapı ve (g) de buhar kazanına su veren musluktur. [Klemm, s. 120].

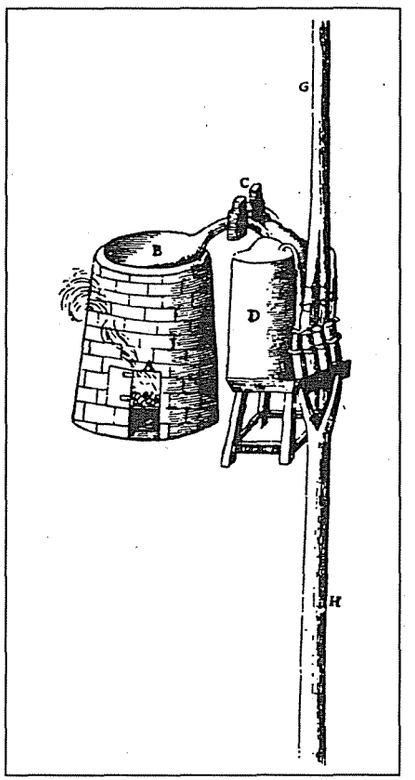
Şekil – 9.40: Thomas Savery. (1650 – 1715).



Şekil – 9.41: Savery'nin pompasının son hali. [Wolf, II, s. 555].



Şekil – 9.42: Savery'nin küçük buhar makinesi. (G) emme borusu 16 feet (4,88 m) uzunluğunda ve 3 inç (7,6 cm) çapındadır. (E) 13 galonluk (49,3 L) toplama kabı, (B) 40 galonluk (151,6 L) kazan, (L) 42 feet (12,8 m) yüksekliğinde basma borusu, (D), (M) ve (N) de bağlantı boruları ve musluklardır. (M) musluğu açılarak basma borusundaki suyun toplama kabının üzerine akması sağlanır ve kap içindeki buhar soğutularak boşluk oluşturulur. Bunun dışında, makinenin çalışması Savery'nin genel ilkesine uyar. [Wolf, II, s. 554].



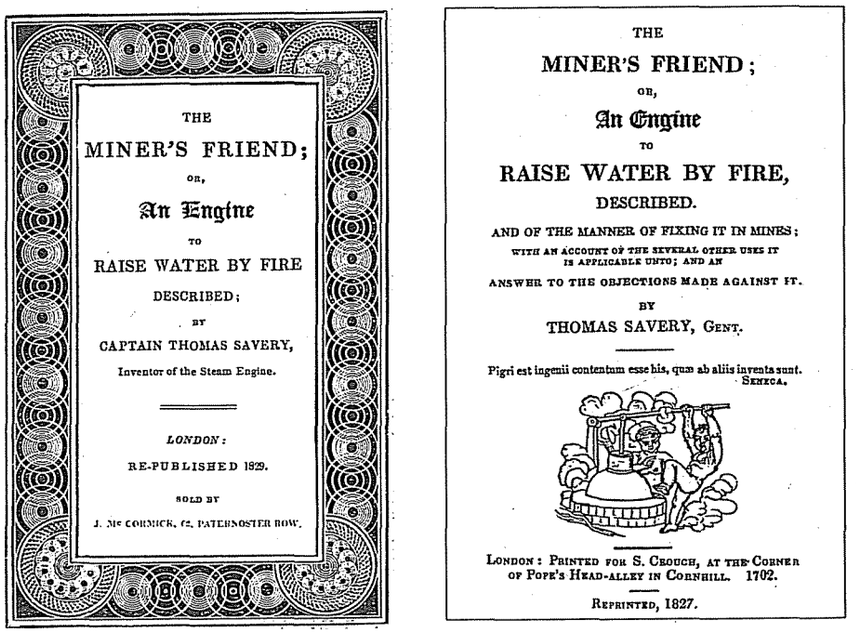
Şekil – 9.43: Savery'nin buhar makinesinin farklı bir biçimi. (A) ocağının üzerindeki (B) kazanı (C) boruları ile (D) toplama kaplarına bağlıdır. Toplama kaplarının dibinden çıkan borular birleştirilerek (G) basma borusunu oluşturmuş, toplayıcıların üzerlerinden çıkan borular da birleştirilerek pompalanacak suyun emildiği (H) borusuna bağlanmıştır. (B) den gelen buhar (C) musluğu açılarak (D) ye doldurulur, buharın yoğunlaşmasıyla su (H) dan (D) ye yükselir. (C) yeniden açılır, alt valf kapanır ve üst valf açılarak su (G) den basılır. Toplayıcıların biri dolarken öteki boşalarak işlem sürer. [Wolf, II, s. 552].

A *Physico-Mechanical* Calculation of the Power of an *Engine.*

Inch	Draws at a 6 Foot ſtroke. AleGall.	Draws at 16 St. in a Min. draws per Hour. Hogſh. Gall.	The Depth to be Drawn in Yards. 15	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100
4	3. 20	48. 51	Inches				9	10	11	11½	12	13½	14	15	16
4½	4. 04	60. 60				10	11	11¼	12	13	14	15	16	17	18¼
5	5. 02	66. 61			10	11	11¾	13	13¾	14	15½	16½	18½	19½	20½
5½	6. 26	94. 30		10	11	12	13	14	15	15¼	17	19	20	21	22¼
6	7. 22	110. 1	9½	11	12	13	14	15½	16	17	19	20½	22	23	24½
6½	8. 46	128. 54	10	12	13	14	15½	16¼	18	19	20	22	23	24½	26½
7	9. 82	149. 40	10¼	13	14	15½	16¼	18¼	19	20½	22	24	25½	27	28½
7½	11. 32	172. 30	11	13¼	15	16½	18	19	20	21¼	23½	25	27	28½	30¼
7¾	12. 02	182. 12	12	14	15½	17½	18½	19½	21	22	24¼	26	28	29'	31½
8	12. 82	195. 22	12½	14½	16½	18½	19	20½	21½	23	25	27	29	30½	32½
8½	14. 52	221. 15	13½	15½	17¼	19	20½	21¼	23	24	26½	28½	31	32½	35¼
9	16. 24	247. 7	14	16½	18	20	21½	23	24¼	25	28	30½	33	35	36½
10	20. 04	304. 48	15½	18	20	22	23½	25½	27	28½	31¼	33¼	36	38½	40

Diameter of the Pump Inches. — The Diameter of the Cylinder.

Şekil – 9.44: Henry Beighton tarafından 1721'de yapılan hesaplamalar sonucunda düzenlenen çizelge. Burada verilen bir derinlikten verilen miktarda suyu çekmek için kullanılacak pompanın gerekli özellikleri verilmektedir. [Briggs, s. 35].



THE
MINER'S FRIEND;
OR,
An Engine
TO
RAISE WATER BY FIRE
DESCRIBED;
BY
CAPTAIN THOMAS SAVERY,
Inventor of the Steam Engine.

LONDON:
RE-PUBLISHED 1829.
SOLD BY
J. Mc CORMICK, 62, PATERNOSTER ROW.

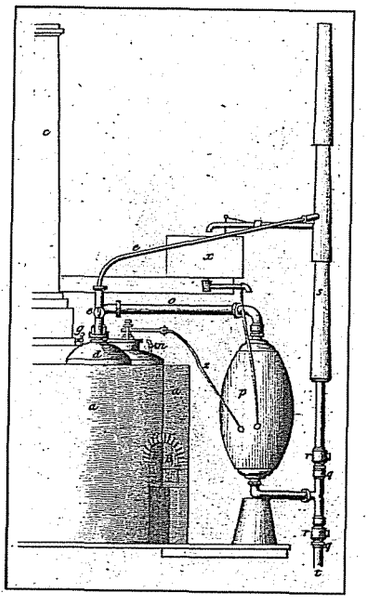
THE
MINER'S FRIEND;
OR,
An Engine
TO
RAISE WATER BY FIRE,
DESCRIBED.
AND OF THE MANNER OF FIXING IT IN MINES;
WITH AN ACCOUNT OF THE SEVERAL OTHER USES IT IS APPLICABLE UNTO; AND AN
ANSWER TO THE OBJECTIONS MADE AGAINST IT.
BY
THOMAS SAVERY, Gent.

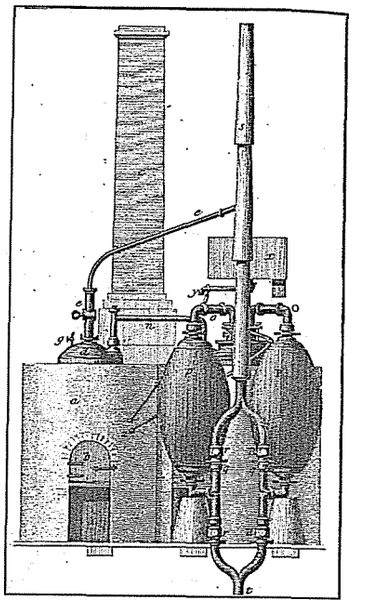
Pigri est ingenii contentum esse his, quæ ab aliis inventa sunt.
SENECA.

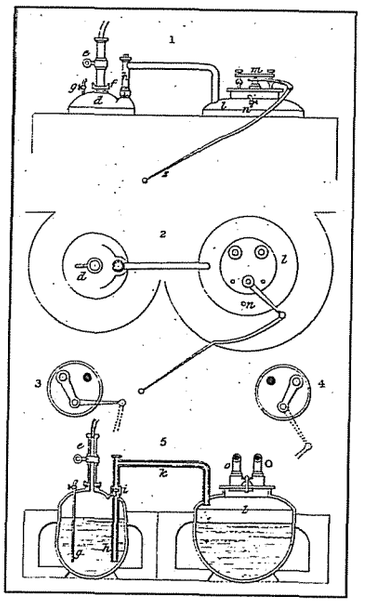
LONDON: PRINTED FOR S. CROUCH, AT THE CORNER OF POPE'S HEAD-ALLEY IN CORNHILL. 1702.

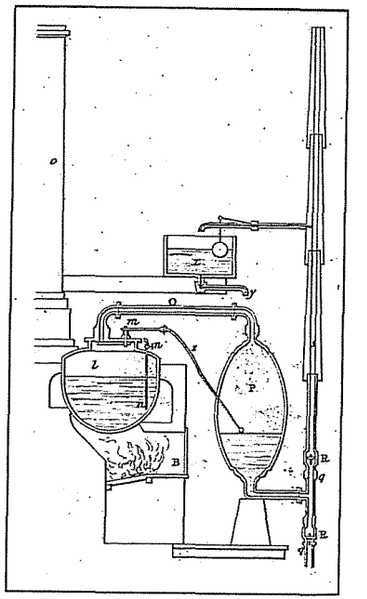
REPRINTED, 1827.

Şekil – 9.45: Savery'nin kitabının 1827'de yapılan ikinci baskısının kapağı (solda) ve kapak sayfası (sağda).

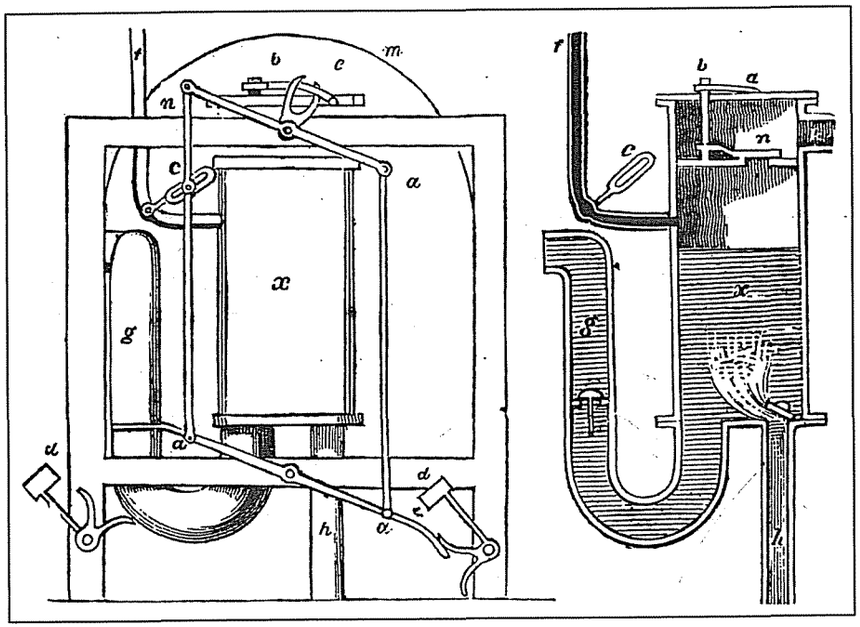








Şekil – 9.46: Savery'nin kitabının ikinci baskısında birinci baskıdaki levhanın yerine kitabın arkasına dört levha eklenmiş ve kitabın başına da Savery'nin portresi konulmuştur.



Şekil – 9.47: Fransız Gensanne tarafından geliştirilen buharlı pompa makinesi. Makine Savery'nin ilkesine göre çalışmakla birlikte su püskürtme ve buhar valflarının çalışması otomatik hale getirilmiştir. [Hills, s. 36].

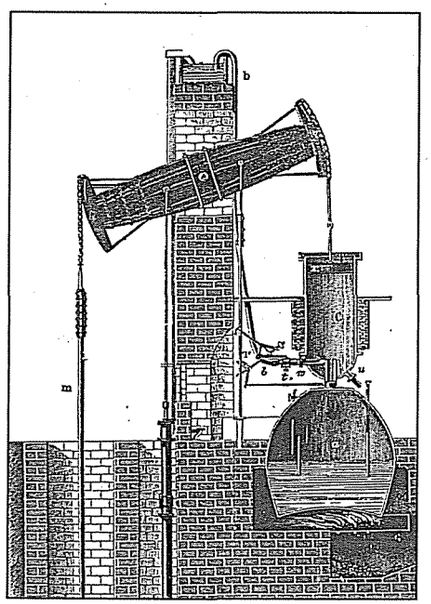
THOMAS NEWCOMEN (1663 – 1729) VE BUHAR MAKİNESİ

Bir demirci ustası olan Thomas Newcomen (1663 – 1729)[11] (Şekil – 9.48) John Cawley'den sağladığı parasal

11 *Thomas Newcomen (1663 – 1729):* Bir demirci ustası olan Newcomen'ın öğrenimi konusunda bir bilgi mevcut değildir. Ortağı John Calley ile birlikte Devon ve Cornwall bölgelerini gezerek buralardaki madenlerin su problemlerini ve Thomas Savery'nin buharlı pompasının verimsizliğini ve yetersizliğini gözledi. Bu pompa suyu ancak 6 m yükseltebiliyordu ve 75 litre suyu 1 m yükseltebilmek için 16 kg kömür harcıyordu. Bunun ardından kendi makinesini üretmekle birlikte Thomas Savery'nin "her türlü ateşli tulumbalar" konusunda patent almış olması nedeniyle 1706'da Thomas Savery ile ortak olmak zorunda kaldı. Savery'den önceki pistonlu makineler geleneğinin devamı niteliğinde bir makine yapma fikrini nereden aldığı bilinmemektedir. Yaptığı ilk makine 1712'de Dartmouth'da dikilmiş olup yaşamı boyunca yüzden fazla makine yapmıştır. [Day ve McNeil, s. 519 – 520; Feldman ve Ford, s. 54 – 55].

kaynakla 1712'de kendi buhar makinesini yaptı. Bu makine Denis Papin'in buhar makinesinin geliştirilmiş bir biçimidir. Makinenin ilk biçimi çok basittir. Silindir buhar kazanının üzerine yerleştirilmiş olup aradaki musluk açıldığında buhar silindire dolarak pistonu yukarı sürer. Ardından buhar musluğu kapatılıp silindir dıştan soğutulduğunda oluşan vakum sonucunda açık hava basıncının etkisi ile piston aşağıya iner ve bu sırada piston koluna bağlı olan bir ağırlık yukarı kalkar. Newcomen'ın buhar makinesinin kesiti ve genel görünümü (Şekil – 9.49 ve 9.50)'de verilmiştir. Pistonun bir yöne doğru buhar kuvveti ile ve karşıt yönde ise açık hava basıncının etkisiyle hareket ettiği makinelere *atmosferik makine* adı verilir.

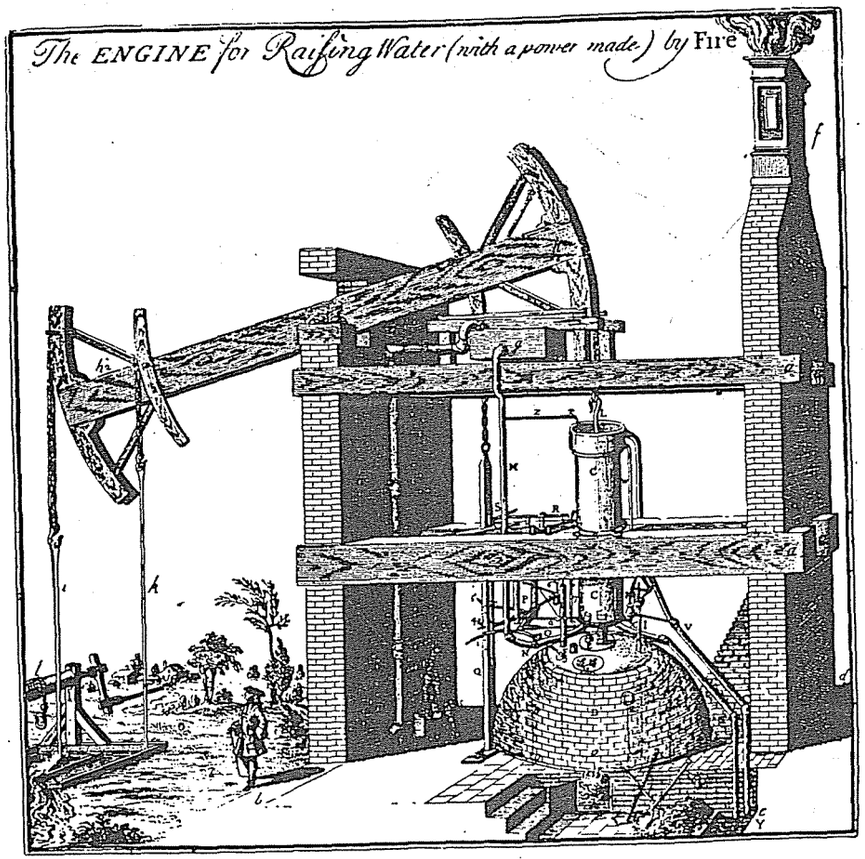
Şekil – 9.48: Thomas Newcomen. (1663 – 1729).



Şekil – 9.49:.Newcomen'ın buhar makinesinin kesiti. [Grunmach ve Rosenboom, s 676].

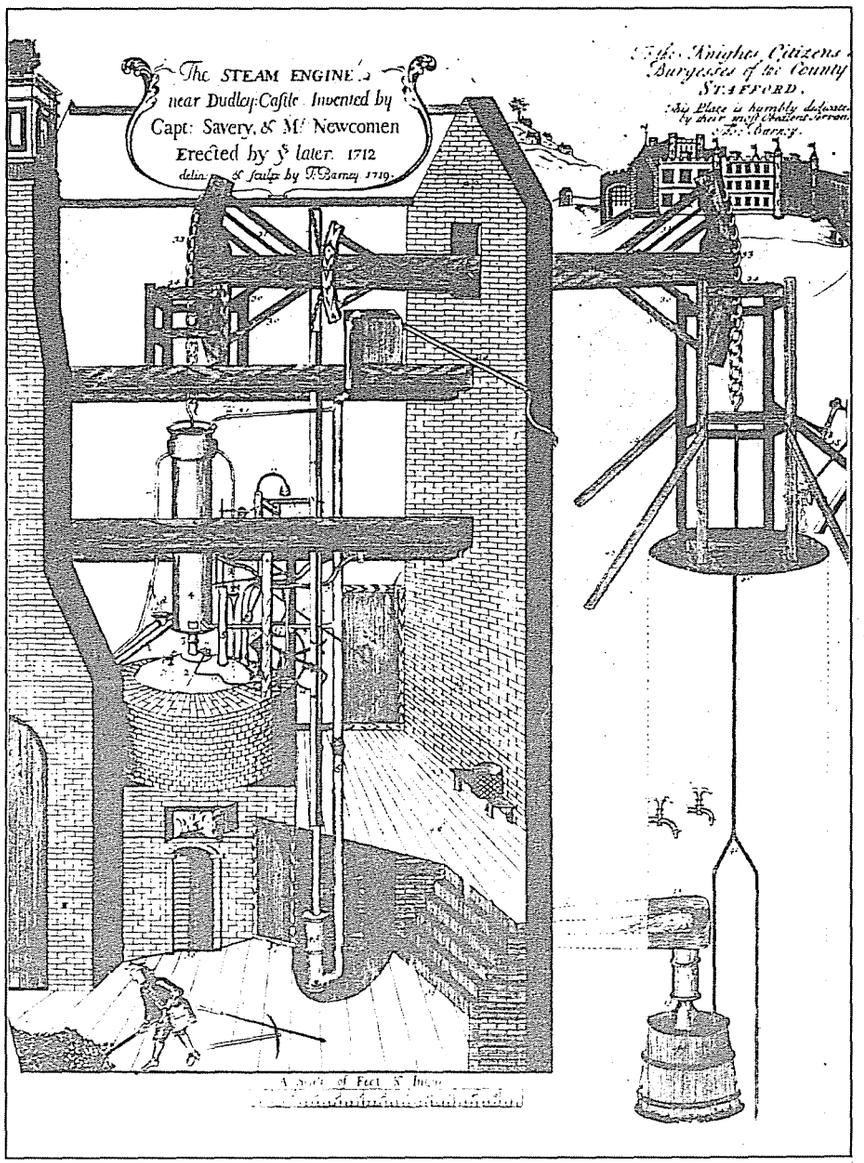
İlk makine Dudley Castle'daki kömür madenine kuruldu. (Şekil – 9.51). Dakikada 3 – 4 iniş çıkış hareketi yapan bu makine yavaş çalışıyor ve buna karşılık çok kömür yakıyordu. Bir gün makine kendiliğinden hızlanarak dakikada 10 – 12

iniş çıkış yapmaya başlamıştır. Bunun nedeni araştırılınca pistonda bulunan bir döküm hatası nedeniyle pistonun delindiği ve bu delikten silindir içine giren suyun buharı hızla yoğunlaştırdığı görülmüştür. Bundan sonra silidirin dıştan su ile soğutulması yerine silindirin içine su püskürtülmesi yoluna gidilmiş ve önceleri silindirin içinde çok su birikmesi sonucunda ortaya çıkan sorunlar silindirin altına 10 m den uzun bir boşaltma borusu takılarak çözülmüştür.

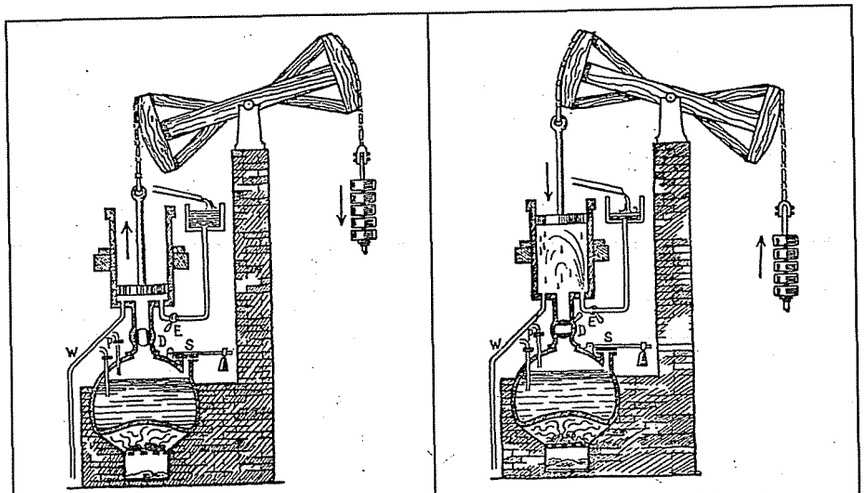


Şekil – 9.50: 1717'de kurulmuş olan bir Newcomen makinesi. [Patrick, s. 176].

Newcomen'in makinesinin çalışması şematik olarak (Şekil – 9.52 ve 9.53)'de ayrıntılı bir biçimde gösterilmiştir.



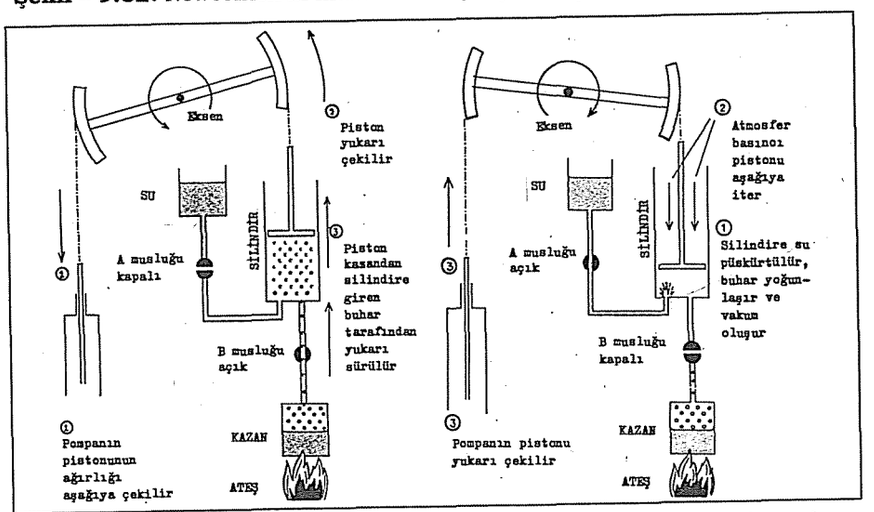
Şekil – 9.51: Thomas Newcomen tarafından 1712'de Staffordshire'deki Dudley Castle'da kurulan ilk makinenin Barney tarafından yapılan gravürü. Bu makine dakikada 12 iniş – çkış yapıyordu ve bunların her birinde 10 galon (37,9 L) suyu 153 feet (46,7 m) yüksekliğe çıkartıyordu. Buna göre makinenin gücü 5,5 HP dolayındaydı. [Hills, s 21].



Newcomen'in makinesinin çalışması (I): (D) buhar valfı açık, (E) püskütme musluğu kapalı. Terazi kolu pistonu yukarı doğru çekerken silindire buhar doluyor. Burada (S) emniyet supabı ve (W) boşaltma borusu.

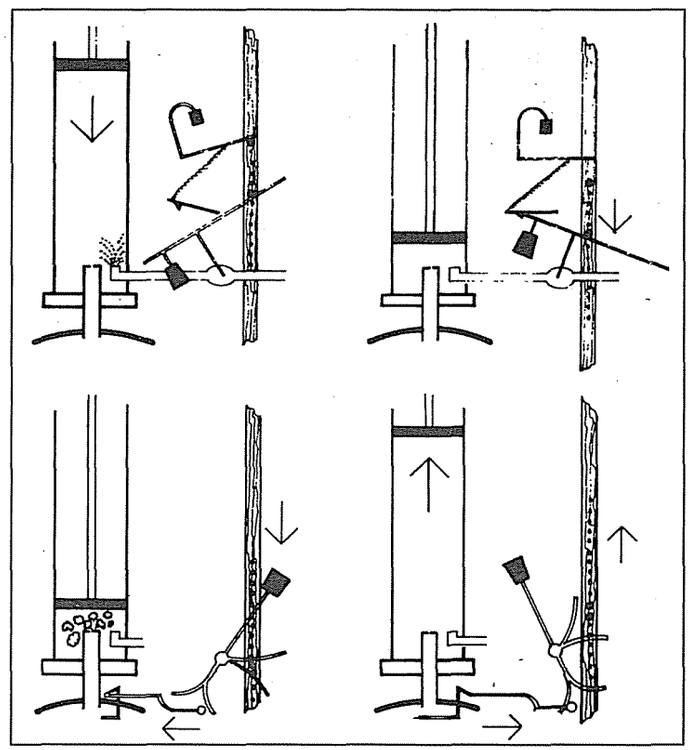
Newcomen'in makinesinin çalışması (II): (D) buhar valfı kapalı, (E) püskütme musluğu açık. Silindirdeki buhar yoğunlaşırken açık hava basıncı pistonu aşağıya doğru itiyor ve terazi kolunu da yukarı çekiyor

Şekil – 9.52: Newcomen'in makinesinin çalışması. [Kiaulehn, s. 189 – 190].

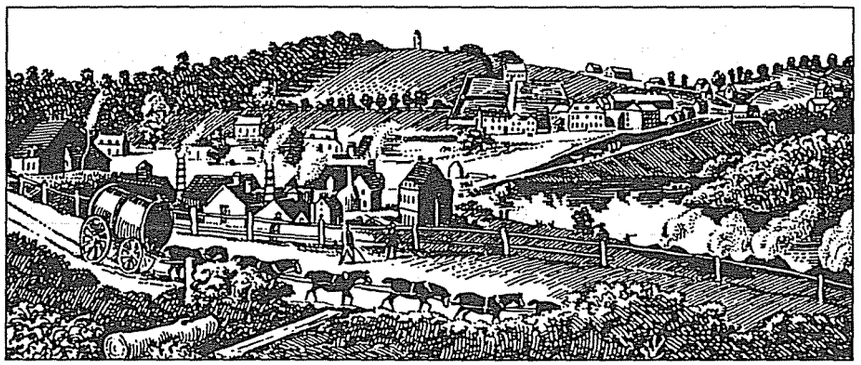


Şekil – 9.53: Newcomen'in buhar makinesinin çalışma şeması. Şemada makinenin ayrıntıları gösterilmemiş olup çalışma sırasındaki olayların sırası numaralandırılmıştır. [Lilley, s. 96 – 97].

Silindire su püskürtme sistemi bir mühendis olan Henry Beighton (1687 – 1743) tarafından 1718'de otomatik hale getirildi. (Şekil – 9.54). Bu düzenleme ile makine dakikada 12 – 16 iniş çıkış yapar duruma geldi. 1720'de Londra'nın suyunu Thames nehrinden yükseltmek için bir Newcomen makinesi kullanıldı. Silindiri yaklaşık 3 m yüksekliğinde olan bu makine dakikade 18 – 20 hareket yapıyordu ve suyu 37 m yükseğe çıkarıyordu. Newcomen makineleri özellikle madenlerde su çekmek için yaygın olarak kullanılmaya başlandı. 1769 yılına gelindiğinde Kuzey İngiltere'de 100 tane Newcomen makinesi çalışıyordu.



Şekil – 9.54: Newcomen'in makinesinde otomatik çalışan su püskürtme ve buhar valfları. (A) Su püskürtme valfı (solda): (1) piston silindirin tepesine çıkarken bir pim yardımıyla kaldıraç aşağı düşerek su valfını açar; (2) piston aşağı inerken kaldıraç valf kapanıncaya kadar aşağıya itilerek su kesilir. (B) Buhar valfı (sağda): (1) piston aşağıya inerken bir pim yardımıyla kaldıracı karşı ağırlık dengeleninceye kadar iter ve buhar valfını açar; (2) piston yukarı çıktığında başka bir pim kaldıracı karşı ağırlıkla dengeleninceye kadar yukarı kaldırır ve buhar gelişi kesilir. [Hills, s. 27].

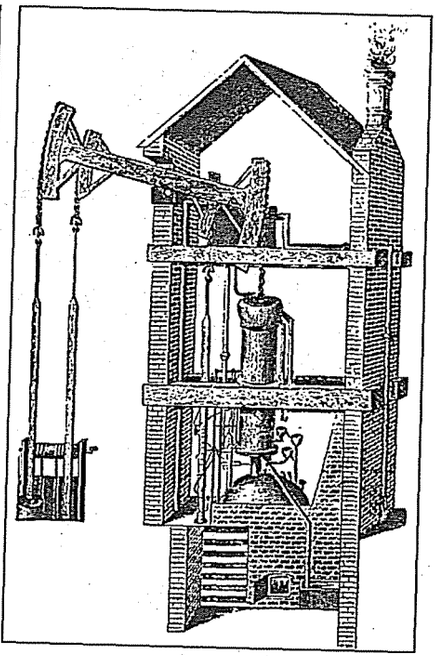


Şekil – 9.55: Arkada Coalbrookdale tesisleri ve burada üretilmiş olan bir Newcomen makinesi silindirinin arabayla taşınması. [Derry ve Williams, s. 477].

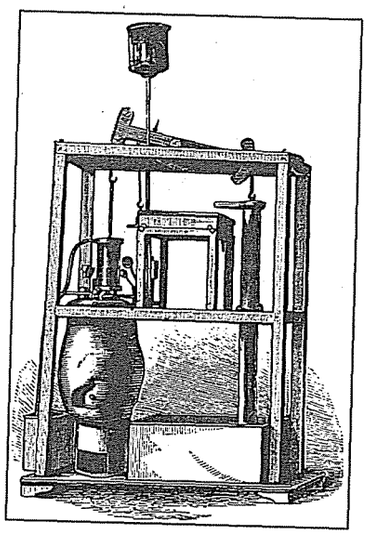
Newcomen'ın makinesini geliştiren bir mühendis olan John Smeaton (1724 – 1792)[12] (Şekil – 9.56) temel çalışma sistemi üzerinde bir değişiklik yapmamakla birlikte, silindir ve pistonun yapımında bronz yerine ısıyı daha kötü ileten demir kullandı, su akma borusunun yerine bir supap koydu ve terazi kolunun biçimini yetkinleştirdi. (Şekil – 9.59). Bununla birlikte bütün uğraşıları sonucunda makinenin gücünü 25 HP dolayına kadar arttırabildi.

12 *John Smeaton (1724 – 1792):* Mekaniğe olan yeteneği daha çocuklu-ğunda ortaya çıktı ve çeşitli aletler ile modeller yapmaya başladı. Orta öğreniminden sonra 16 yaşındayken babasının hukuk bürosunda çalışmaya başladı. 1742'de hukuk öğrenimi için Londra'ya gitti fakat bunun yerine bir bilimsel alet yapımcısının yanına girdi, 1748'de kendi atölyesini açtı ve buluşları konusunda sunduğu yazılar sonucunda 1753'de Royal Society'ye üye seçildi. 1755'de Eddystone fener kulesinin inşaatı kendisine verildi ve hidrolik çimentoyu ürettikten sonra kuleyi 1756 – 1759 dönemini kapsayan üç yılda inşa etti. Daha sonra 61 km boyundaki Forth – Clyde kanalını gerçekleştirdi. Su ve yel değirmenlerinin verimi konusunda çalışmalar ve iyileştirmeler yaptı ve 1753 – 1790 arasında 44 tane değirmen inşa etti. 1767'de Newcomen buhar makinesi üzerinde çalışmaya başlayarak makineyi iyileştirip verimini arttırdı. Geliştirilmiş ilk makinesini 1772'de Northumberland'da kurdu. Buhar makinesi için yakılan 1 bushel (84 libre, 38 kg) komürün 1 feet (30,5 cm) yükseltebildiği su miktarını temel alarak bir verim hesabı geliştirdi. [Day ve McNeil, s. 649 – 650].

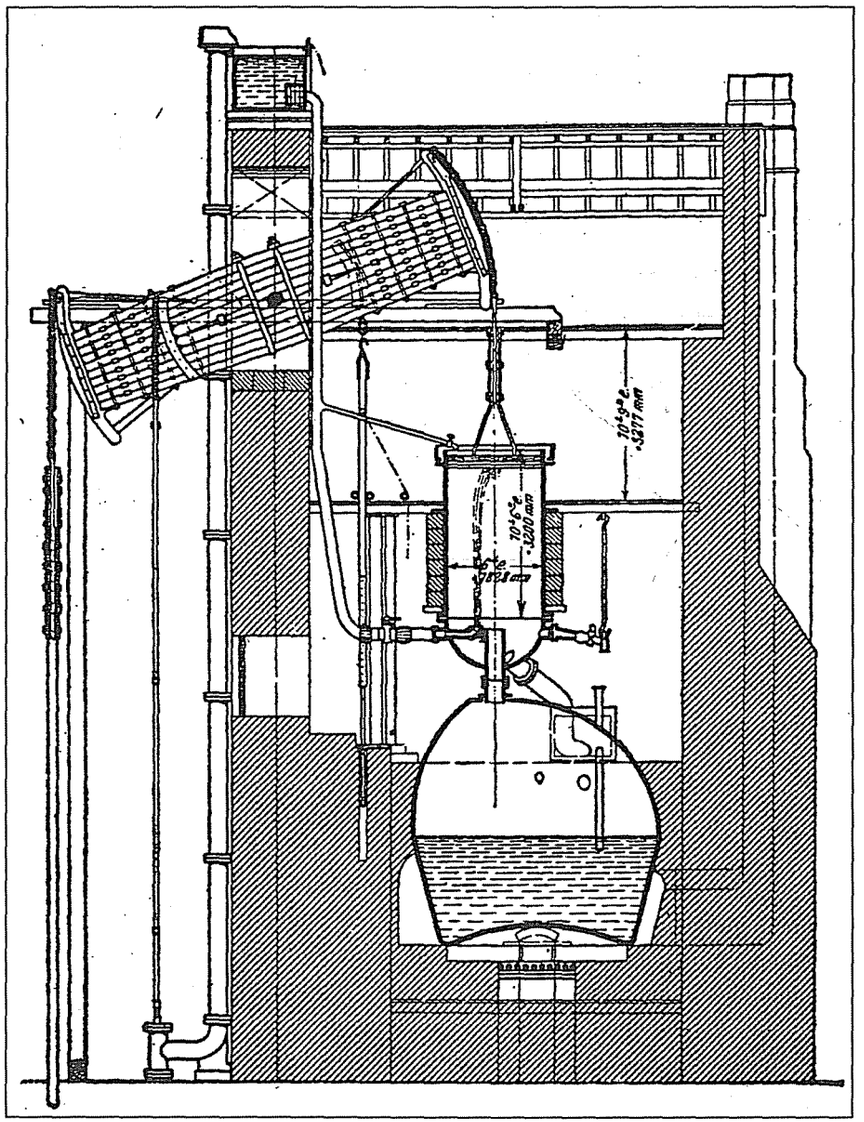
Şekil – 9.56: John Smeaton. (1724 – 1792). [Matschloss, s. 90].



Şekil – 9.57:.1732'de kurulmuş bir Newcomen'ın buhar makinesi. [Usher, s. 351].



Şekil – 9.58:.Londra'da F. J. Sisson tarafından yapılmış olup Glasgow Üniversitesi'nde ders aracı olarak kullanılan Newcomen buhar makinesi modeli. Silindir boyu 14 cm ve kazan yüksekliği 57 cm dir. Bu model onarılmak üzere James Watt'a gönderilmiş ve bunu ineleyen Watt buradan yola çıkarak kendi makinesini yapmıştır. [Selmeier, s. 150].



Şekil – 9.59: John Smeaton tarafından geliştirilen Newcomen makinesinin son görünümü. Bu makine 1775'de Chacewater Madeni'nde kurulmuş olup silindir çapı 72 inç (183 cm) dir. [Kiaulehn, s. 194].

JAMES WATT (1736 – 1819) VE GERÇEK BUHAR MAKİNESİNİN DOĞUŞU

Watt'ın atmosferik buhar makinesi

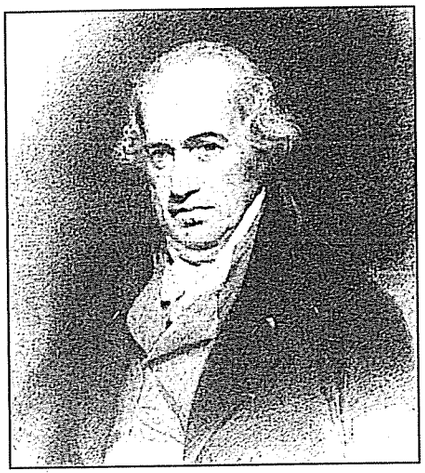
Üstün yetenekli bir mekanikçi olan James Watt (1736 – 1819)[13] (Şekil – 9.60 ve 9.61) 1756'da Glasgow Üniversitesi'nde mekanikçi (bilimsel alet yapımcısı ve tamircisi) olarak atölyesini kurarak çalışmaya başladı. (Şekil – 9.62). Bir gün üniversitede bulunun bir Newcomen buhar makinesi modeli onarılmak için kendisine getirildi. Makineyi inceleyen Watt, daha önce Smeaton'un yaptığı gibi düşünmeyerek makinenin iyileştirilmesi için sistemin temelden değiştirilmesi gerektiği sonucuna vardı. Bunun için de öncelikle buharın özelliklerinin iyi bilinmesi gerektiğini görerek yaptığı deneyler sonucunda Glasgow Üniversitesi'nde kimya profesörü olan Joseph Black (1728 – 1799)[14] ile aynı zamanda suyun gizli buharlaşma

---

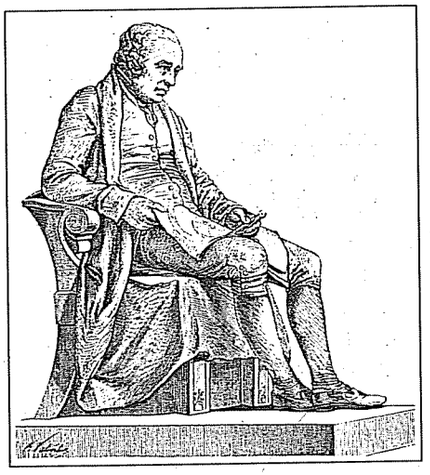
13 *James Watt (1736 – 1819):* Çocukluğunda sağlığı bozuktu ve ilkokulu bitirdikten sonra gemilere çeşitli malzeme üreten babasının atölyesinde çalışarak çeşitli alanlarda becerisini geliştirdi. 1755'de Londra'ya giderek burada bir bilimsel alet yapımcısına çırak oldu. 1757'de geri dönerek Glasgow Üniversitesi'nde alet tamirci ve yapımcısı olarak çalışmaya başladı. 1764'de kendisine tamir edilmek üzere bir Newcomen buhar makinesi modeli getirildi. Bu makinedeki ısı kaybı sorununun silindirin sürekli olarak ısıtılıp soğutulmasından kaynaklandığını gözleyerek buharın farklı bir yerde yoğunlaştırılmasına dayanan kendi makinesini ortaya koydu ve 1769'da "A new method of lessening the consumption of steam and fuel in fire engines" [Ateş makinelerinde buhar ve yakıt tüketimini azaltmanın yeni bulunan bir metodu] başlıklı patentini aldı. Makineyi teknik açıdan yapma olanağı bulamadığından bir süre başka işlerde çalıştı ve 1772'de sanayici Dr. John Roebuck ile ortak olduysada onun iflası üzerine 1774'de Birmingham'da demir malzeme üreticisi olan Mathew Boulton (1728 – 1809) ile ortak olarak Boulton & Watt şirketini kurdu. 1775'de patent süresinin 25 yıl için uzatılmasının ardından üretime geçtiler. 1800 yılına gelindiğinde Fransa, Almanya ve Rusya dışında sadece İngiltere'de beş yüzden fazla buhar makinesi çalışıyordu. Boulton ile birlikte 1785'de Royal Society'ye üye seçildiler. Watt makinelerin gücünü belirlemek için yaptığı işe göre "beygir gücü" birimini ortaya koydu. Günümüzde kullanılan güç birimi onun adına "Watt" olarak adlandırılmıştır. [Day ve McNeil, s. 741 – 742; Feldman ve Ford, s. 72 – 73].

14 *Joseph Black (1728 – 1799):* İskoçyalı hekim, kimyacı ve fizikçi olan Black, Glasgow Üniversitesi'nde tıp öğrenimi gördü. Hocası Dr. Cullen'in etkisiyle kimyaya yöneldi. Magnezyum ve kalsiyum karbonatlar ile alkali

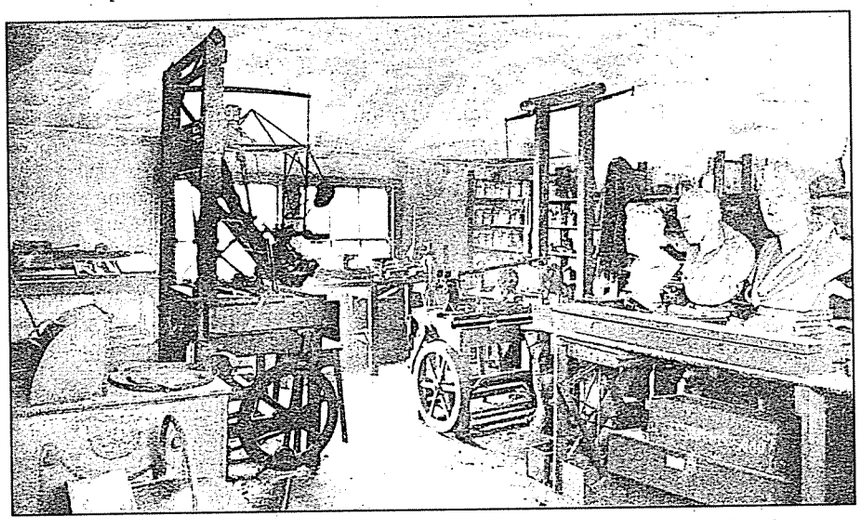
ısısını buldu ve suyun buharlaşması durumunda hacmının 1800 kat arttığını saptadı. (Şekil – 9.63).



Şekil – 9.60: James Watt. (1736 – 1819). [Finch, Levha 19].

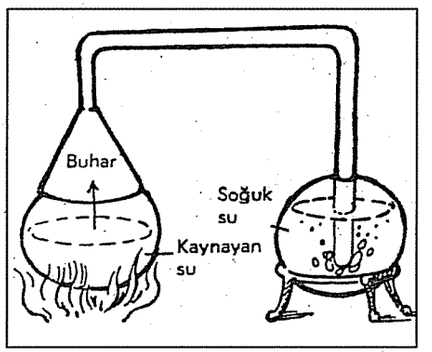


Şekil – 9.61:.James Watt'ın Westminster'deki heykeli. [Figuier, s. 204].



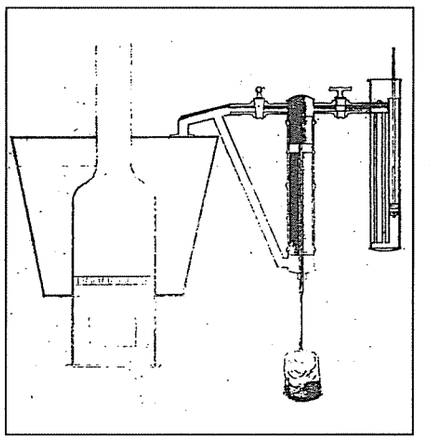
Şekil – 9.62: James Watt'ın Glasgow Üniversitesi'ndeki atölyesi. [Dickinson ve Vowles, s. 29].

hidroksitler üzerinde çalıştı. En önemli katkısı olarak özgül ve gizli ısıları ve buradan yola çıkarak da ısı ve sıcaklık arasındaki farkı ortaya koydu.

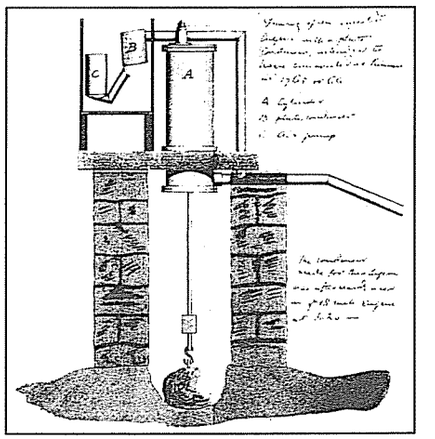


Şekil – 9.63:. James Watt'ın suyun gizli buharlaşma ısısını bulmak için yaptığı deney. [Kiaulehn, s. 209]. Bu deneyde kaynatma işlemini balondaki soğuk su kaynayıncaya kadar sürdüren Watt aradaki tartım farkından soğuk suyun ağırlığının 1/6 oranında arttığını saptadı ve buhar durumuna gelmiş olan suyun kendi ağırlığının altı katı kadar suyu kaynama sıcaklığına kadar ısıttığı sonucuna vardı.

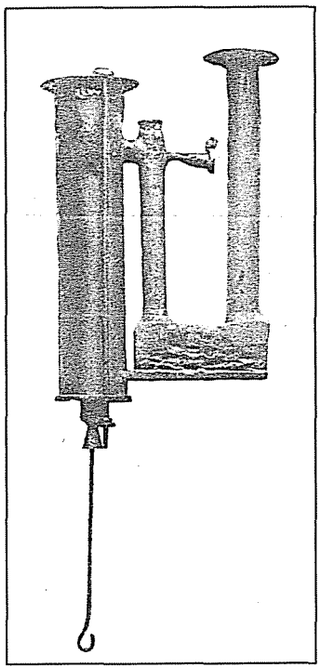
James Watt, Newcomen'in buhar makinesinde iki köklü değişiklik yaptı, Birinci olarak buhar kazanını silindirden ayırarak yan tarafa aldı. İkinci olarak buharı silindir içinde soğutmak yerine bir pompa ile çekerek ayrı bir yerde soğutma yoluna gitti. Newcomen'in makinesinde silindir sürekli olarak soğutulup buhar verildiğinde yeniden ısıtılarak önemli bir ısı kaybına neden olurken Watt'ın sisteminde sürekli olarak sıcak kalıyordu. Watt'ın ilk makinesine ilişkin olarak yaptığı çizimler ile yaptığı ilk modeller (Şekil – 9.64, 9.65, 9.66 ve 9.67)'de, makinenin çalışma ilkesi (Şekil – 9.68 ve 9.69)'da ve buhar makinesinin gelişim basamakları Şekil – 9.70)'de verilmiştir.



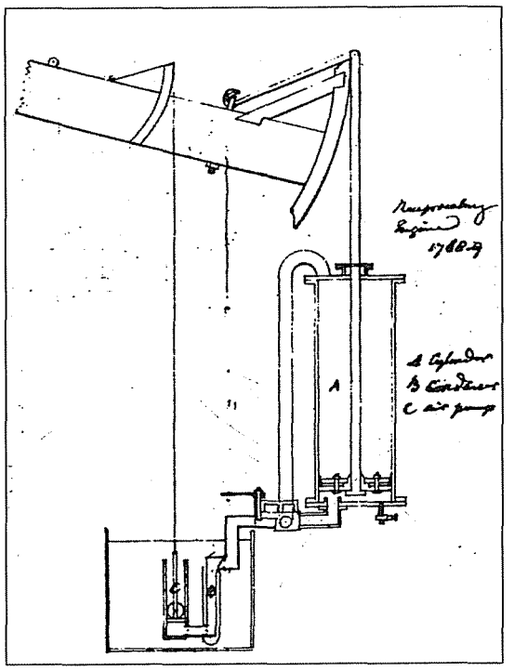
Şekil – 9.64: James Watt'ın ilk tasarımlarına ilişkin orijinal çizimlerinden biri. Burada silindir ters olup piston kolu ağırlığı kaldırmaktadır. [Hills, s. 55].



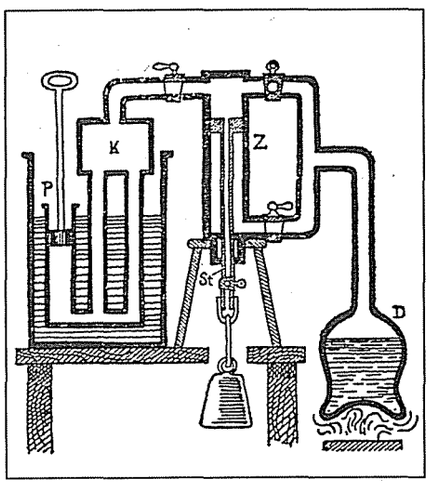
Şekil – 9.65: James Watt'ın ilk tasarımlarına ilişkin orijinal çizimlerinden biri. [Hills, s. 55].



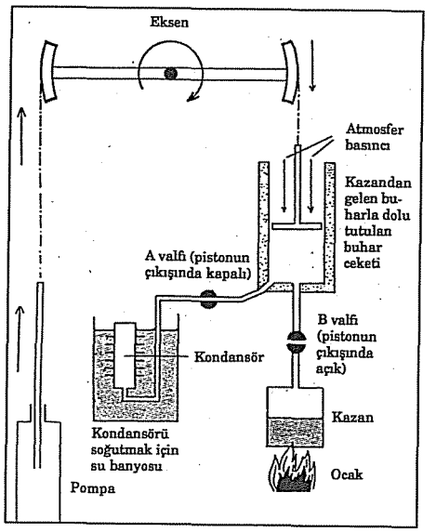
Şekil – 9.66: James Watt'ın 1865'de gerçekleştirdiği iki modelden biri. [Selmeier, s. 155].



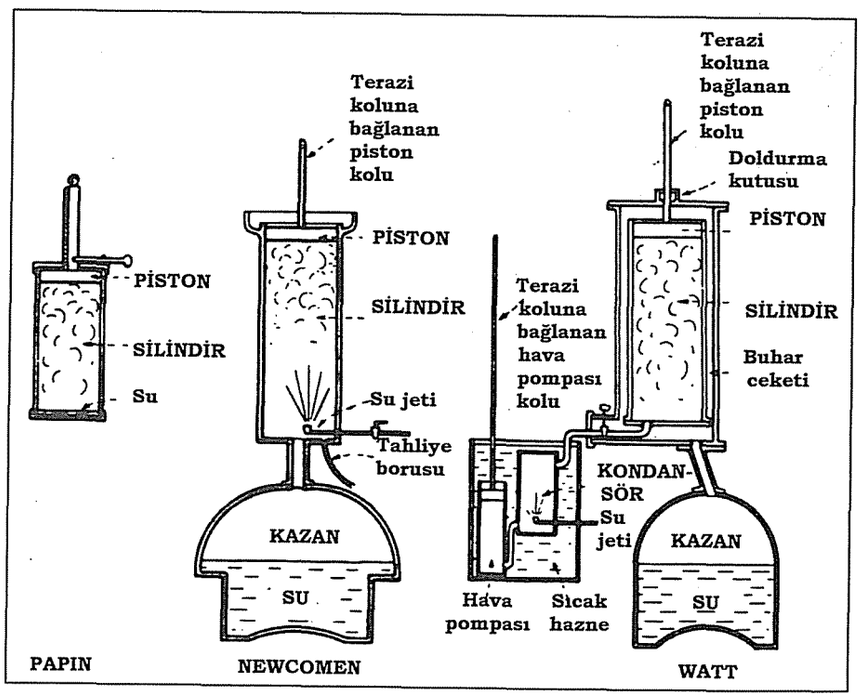
Şekil – 9.67: James Watt'ın 1869'da patent için çizdiği kondansörlü buhar makinesi resmi. [Verchmin ve Radkau, s. 99].



Şekil – 9.68: Watt'ın ayrı kondansatörlü buhar makinesinin ilk modeli. [Kiaulehn, s. 211]. Silindirin üzerindeki borudan gelen buhar pistonu aşağıya iter. Buhar gelişi kapatılıp bir (P) hava tulumbasına bağlı olup soğuk su içinde tutulan (K) kondansörüne giden musluk açıldığında buraya giren buhar aniden yoğunlaşır. Buharın yoğunlaşması ile birlikte açık hava basıncı pistonu yukarı kaldırır. Silindir içinde biriken suyun zaman zaman boşaltılması için piston koluna bir delik açılmıştır. Bu ilk deney makinesi 18 librelik (8,15 kg) bir ağırlığı kaldırmıştı.

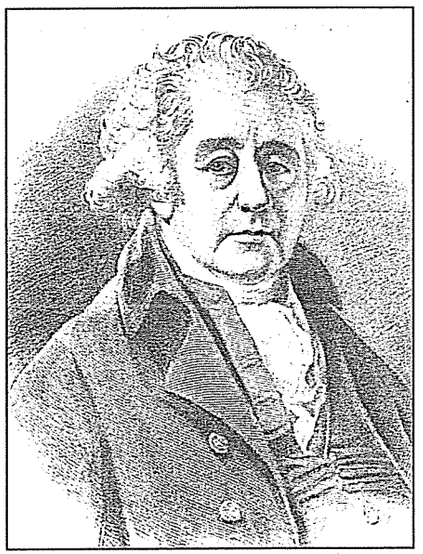


Şekil – 9.69: Watt'ın pompa çalıştıran atmosfeerik buhar makinesinin çalışma şeması. [Lilley, s. 104]. Makine Newcomen'in makinesi ile aynı ilkeye göre çalışmakla birlikte silindirin üstü kapatılmış olup silindir bir buhar ceketi yardımıyla sürekli olarak sıcak tutulmakta ve buharın yoğunlaşması su ile soğutulan ayrı bir kondansörde gerçekleşmektedir.



Şekil – 9.70: Denis Papin (1690), Thomas Newcomen (1712) ve James Watt'ın (1769) buhar makinelerinin çalışma sistemlerinin karsılaştırılması. [Somerscales, s. 274].

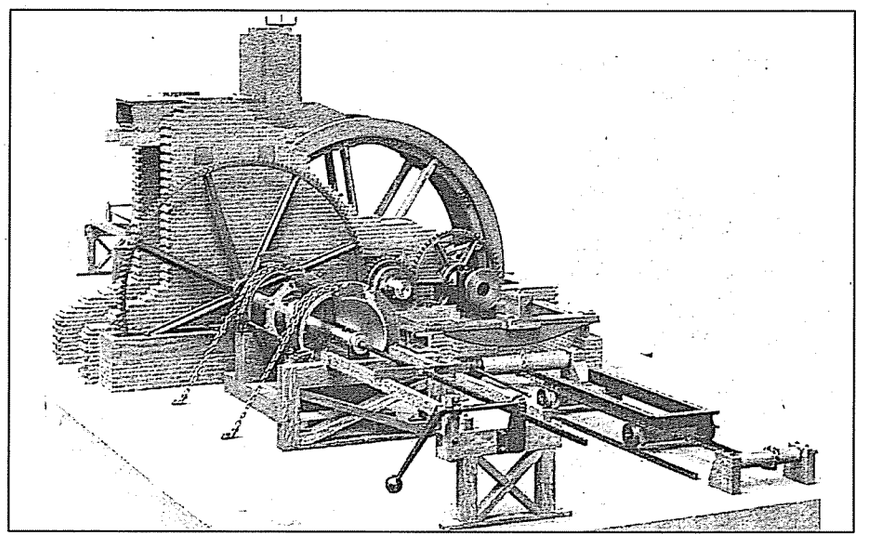
James Watt ilk model makineyi gerçekleştirip patentini aldıktn sonra üretime geçmek için sülfat asidi sanayiinin kurucusu olan Dr. John Roebuck (1718 – 1794) ile ortak oldu. Ancak, Roebuck'ın iflası üzerine bu kez Birmingham'da Soho'da bir demir fabrikası olan Matthew Boulton (1728 – 1809) (Şekil – 9.71) ile ortak oldu. Watt ile Boulton burada John Wilkinson (1726 – 1808) (Şekil – 9.72) için ilk makineyi gerçekleştirdiler. Başlıca sorunu oluşturan silindirin dökümü ve delinmesi 1774'de bir delme makinesi gerçekleştirmiş olan John Wilkinson tarafından yapıldı ve silindir 1776'da tamamlandı. (Şekil – 9.73 — 9.79).



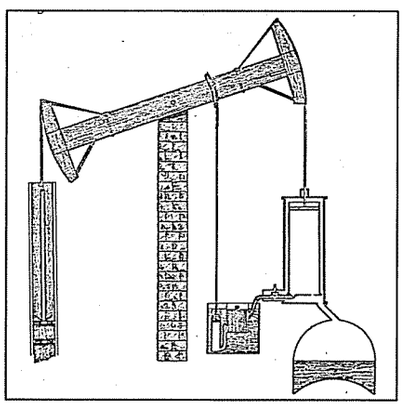
Şekil – 9.71: Matthew Boulton. (1728 – 1809). [Matschloss, s. 97].

Şekil – 9.72: John Wilkinson. (1726 – 1808).

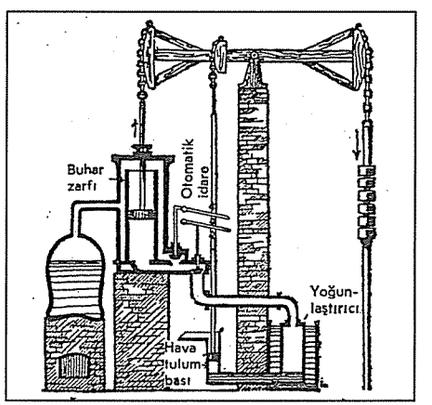
Watt, pistonu aşağıya bastıran havanın pistonu ve silindiri çok soğuttuğunu görerek silindirin üstünü kapattı. Buhar makinesinin bu aşamasına Watt'ın *tek etkili buhar makinesi* adı verilir. Önceleri silindirin çevresi havanın soğutmasına karşı bir tahta zarfla korunurken daha sonra silindirin dışına bir buhar gömleği geçirilerek sürekli olarak sıcak kalması sağlandı. Makinenin başarısından sonra Boulton & Watt firması Cornwall bölgesinde çok sayıda makine kurarak maden ocaklarını kurtardı.



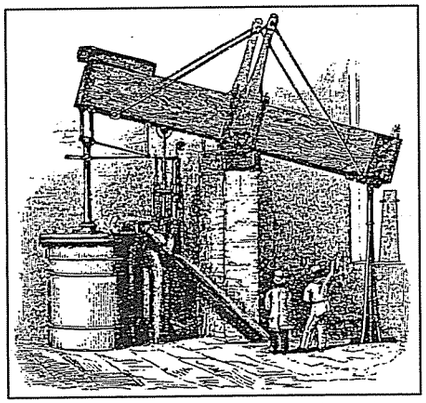
Şekil – 9.73: Wilkinson'un silindir delme makinesinin modeli. [Lilley, Levha XVIII].



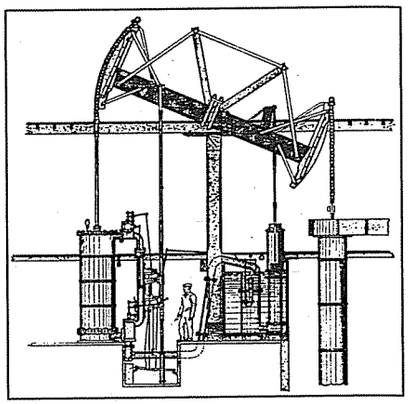
Şekil – 9.74: Watt'ın makinesinin Nisan 1775'de patent uzatması için Parlamentoya sunulan resmi. [Dickinson, s. 44].



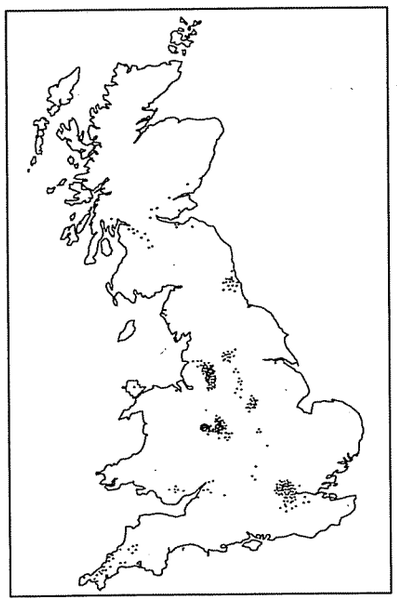
Şekil – 9.75: Boulton & Watt tarafından Wilkinson için Birmingham'da kurulan ilk buhar makinesi. [Kiaulehn, s. 220].



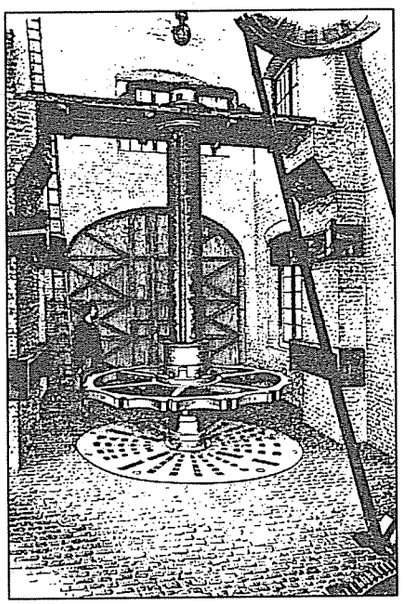
Şekil – 9.76: Orijinal bir Boulton & Watt buhar makinesi. [Cossons, s. 64].



Şekil – 9.77: Boulton & Watt'ın 1777'de kurduğu bu pompa makinesi 125 yıldan daha uzun bir süre çalışmıştır. [Derry ve Williams, s. 321].

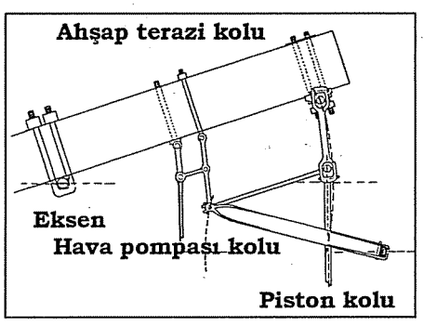


Şekil – 9.78: Boulton & Watt buhar makinelerinin 1775 – 1800 döneminde İngiltere'deki dağılımı. Burada her nokta bir makineyi göstermektedir. [Cossons, s. 69].

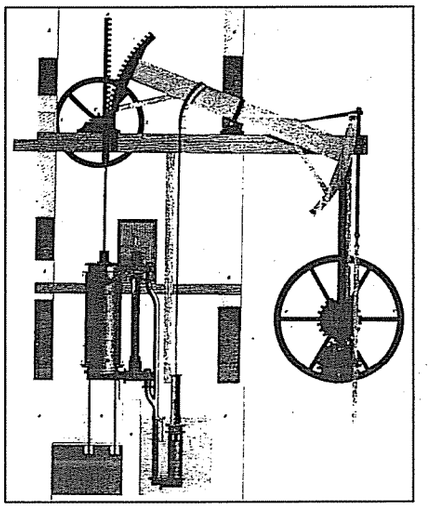


Şekil – 9.79: Boulton & Watt firmasının Soho'daki fabrikasında kurulan ilk düşey delme makinesi. (1800). [Derry ve Williams, s. 362].

Önceleri piston kolunun terazi koluna doğrudan bağlanmayıp bir zincirle bağlanması yoluna giden Watt daha sonra sorunu bir paralelkenar eklem geliştirerek çözdü. (Şekil – 9.80). Bir başka çözüm olarak piston kolunun hareketinin bir dişli sistemi ile terazi koluna aktarılması da uygulanmakla birlikte bu sistem yaygınlaşmadı. (Şekil – 9.81).



Şekil – 9.80: Watt'ın ilk kez Robinson'a yaptığı makinelerde uyguladığı paralelkenar sistemi. [Hills, s. 68].

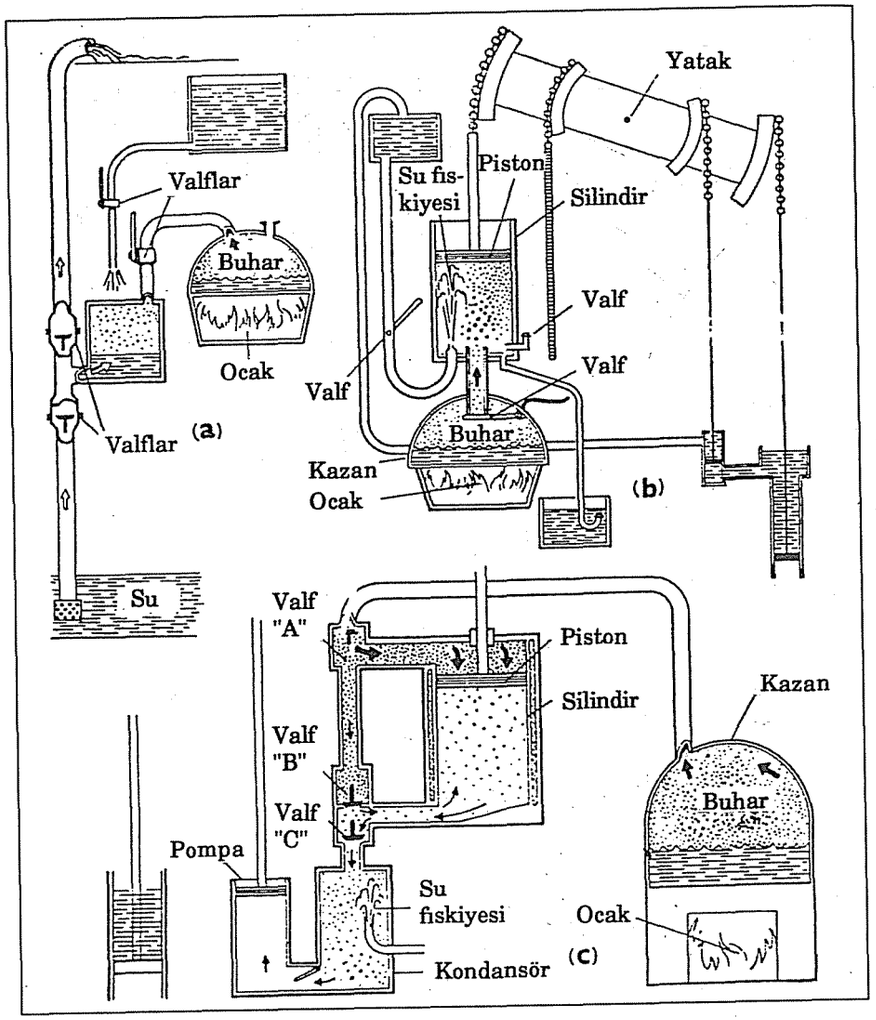


Şekil – 9.81: Watt'ın piston kolunun hareketini bir dişli sistemi ile terazi koluna aktardığı sistem. [Hills, s. 67].

Watt'ın çift etkili buhar makinesi

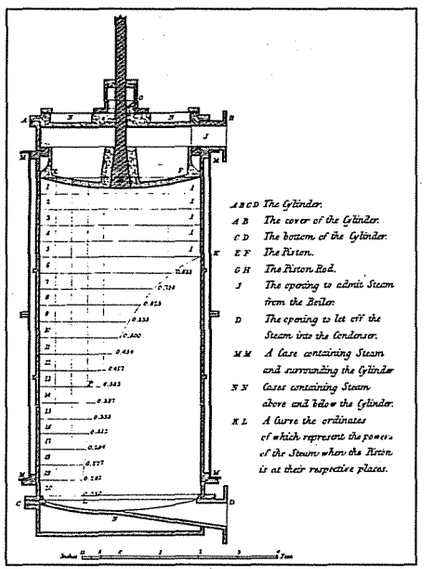
Watt'ın makinesi başlangıçta Newcomen'in makinesi gibi atmosferik veya tek etkili bir makineydi. Yani pistonun bir yöne doğru olan hareketi buhar basıncı ile sağlanırken silindir içinde boşluk oluşturulunca karşı hareketi de atmosfer basıncı tarafından sağlanıyordu. Aradaki temel fark Newcomen'in makinesinde buhar silindir içinde yoğunlaştırılarak boşluk oluşturulurken Watt'ın makinesinde silindirdeki buhar çekilerek ayrı bir yerde (kondansörde) yoğunlaştırılıyordu. Watt'ın kendi makinesi üzerinde yaptığı en önemli devrimsel değişiklik pistonun her iki yöne doğru olan hareketinin de buhar basıncı ile sağlanmasıdır. Böylece, "Newcomen'in ateş ve hava makinesi" gerçek bir buhar makinesi biçimine dönüştü. Bu tür makinelere *çift etkili buhar makinesi* adı verilir. Burada

silindir dışarıya kapalı bir sistemdir ve pistonun hareketinde atmosfer basıncının etkisi yoktur. Silindirin her iki ucundan da hem buhar girişi ve hemde buhar çıkışı vardır ve bir uçtan giren buhar pistonu iterken öbür taraftaki buhar da pompayla çekilerek kondansöre alınır. Savery'nin buharlı pompası ile Newcomen ve Watt'ın buhar makinelerinin çalışma şemaları (Şekil – 9.82)'de verilmiştir.

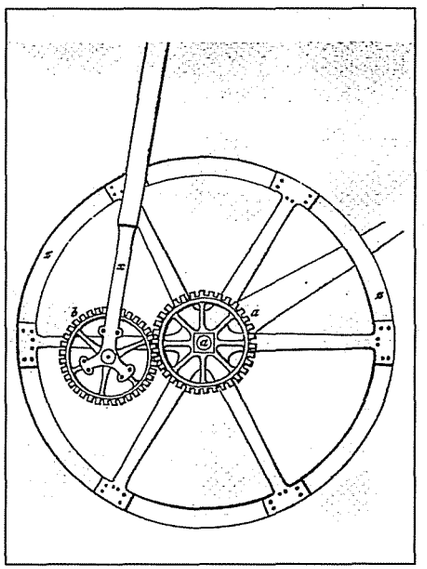


Şekil – 9.82: (a) Thomas Savery, (b) Thomas Newcomen ve (c) James Watt buhar makinelerinin çalışma sistemlerinin karşılaştırılması. [Taylor, s. 16].

James Watt çift etkili buhar makinesini yaptıktan sonra buhar girişi kesildikten sonra silindir içindeki buhar basıncının düşüşünü inceledi. (Şekil – 9,83). Çift etkili makinenin ortaya çıkışından sonra çözülmesi gereken temel sorun pistonun terazi koluna yaptırdığı iniş – çıkış hareketinin bir dönme hareketine dönüştürülmesiydi. Bunun bir krank sistemi ile yapılması çok kolay olmakla birlikte bir Ortaçağ buluşu olan krankın bir kişi tarafından yeni bir buluş gibi gösterilerek patentinin alınmış olması nedeniyle Watt farklı yollar aramak zorunda kaldı. Bunun için terazi kolunun ucuna bir güneş ve gezegen dişli sistemi uygulayarak pistonun hareketini dönme hareketine dönüştürdü. (Şekil – 9.84).



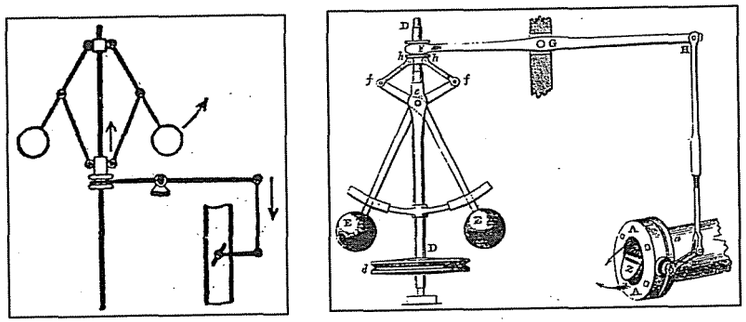
Şekil – 9.83: Watt'ın buhar girişinin kesilmesinin hemen ardından silindir içindeki buhar basıncının düşüşünü gösteren diyagramı. [Hills, s. 65].



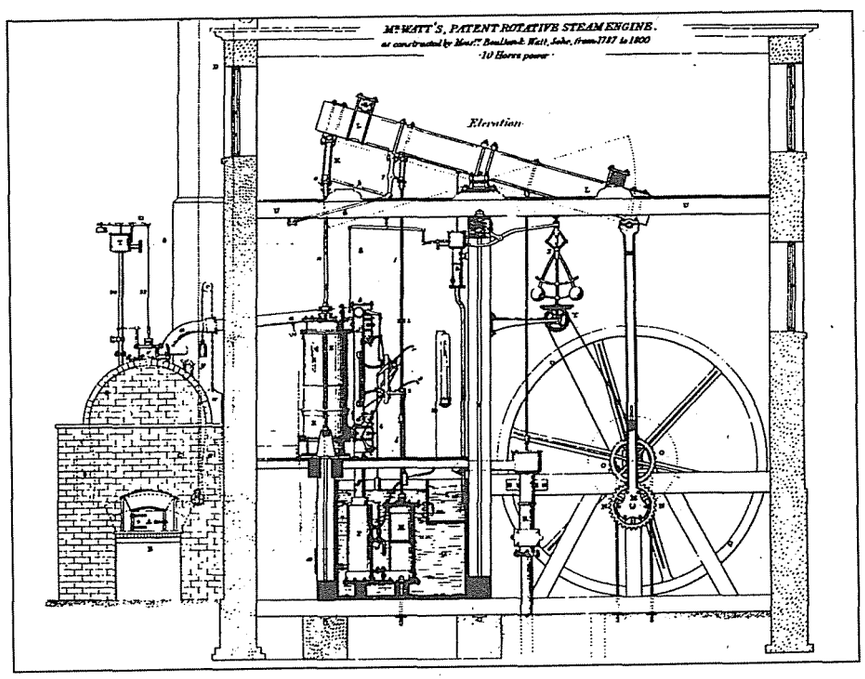
Şekil – 9.84: Güneş ve gezegen dişli sistemi ile dönme hareketinin sağlanması. [Verchmin ve Radkau, s. 102].

Buhar makinesine dönme hareketi de sağlandıktan sonra son sorun olarak makinenin sabit hızda bir dönme hareketi sağlamasıydı. Bu sorun eskidenberi bilinen bir sistem olan küreli hız düzenleyiciyi makineye uygulayarak çözüldü. Böylece döner hareket sağlayan ve sabit bir hızla çalışan

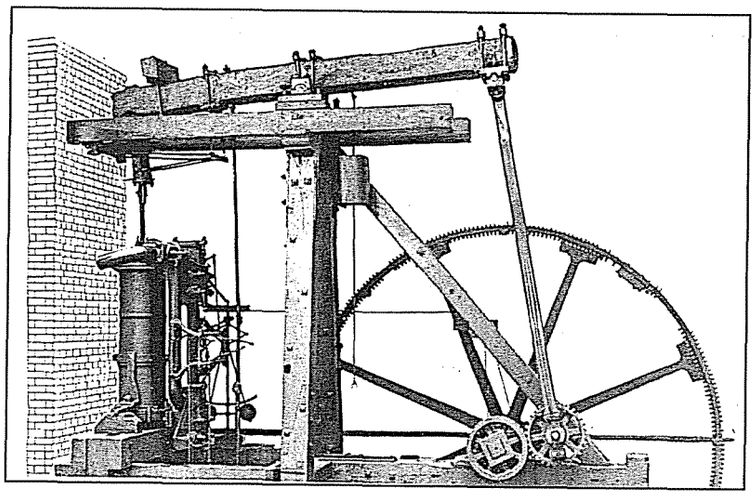
buhar makinesi Sanayi Devrimi'nin gerçek yaratıcısı oldu. (Şekil – 9.85, 9.86, 9.87, 9.88 ve 9.89).



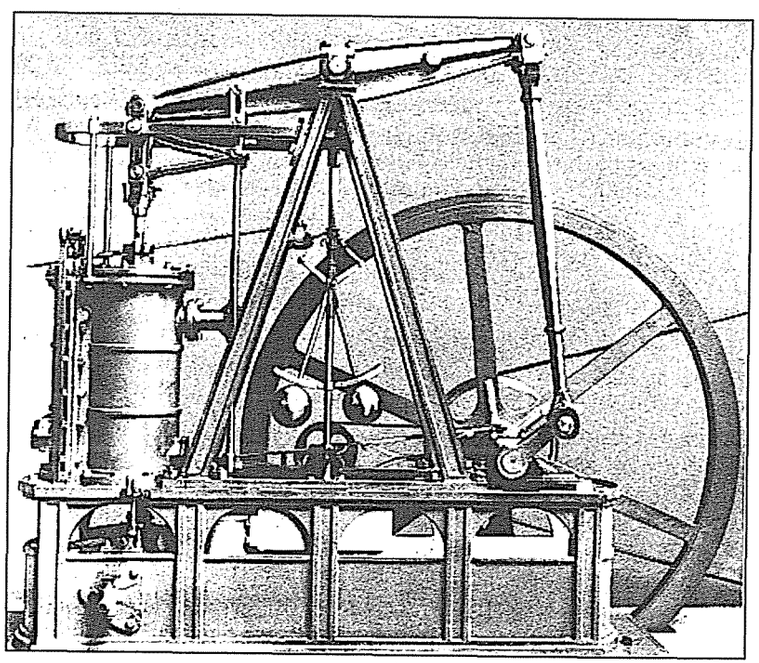
Şekil – 9.85: Küreli hız düzenleyici. Merkezkaç kuvvetten yararlanarak çalışan ve buhar makinesinin çalışma hızını düzenleyen supaptır. Makine hızlanınca küreler açılır ve bunun sonucunda buhar gelişi kesilir . Böylece buhar makinesinin sabit bir hızla çalışması sağlanır. [Hills, s. 67 – 68].



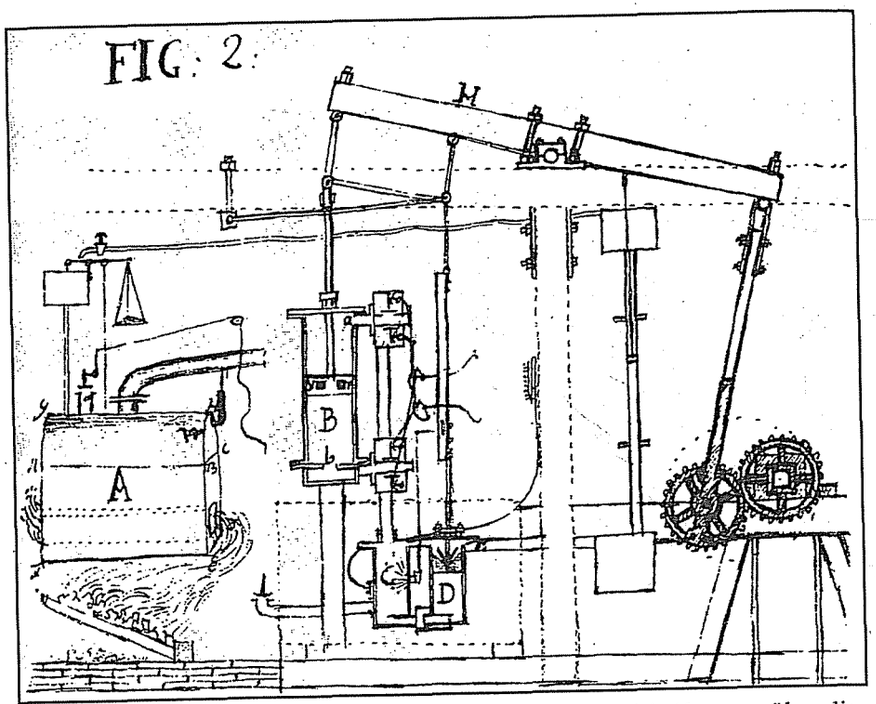
Şekil – 9.86: Boulton & Watt firmasının erken dönem çift etkili makinelerinden biri. Makine ahşap çerçeveli, güneş ve gezegen dişlili ve hız düzenleyicili olup buhar otomatik su beslemeli vagon tipi bir kazandan elde edilmektedir. [Hills, s. 71].



Şekil – 9.87: Watt'ın çift etkili, terazi kolu ahşap, güneş ve gezegen dişli sistemi ile döner hareket sağlayan buhar makinesi. (1784). [Lilley, Levha XII].



Şekil – 9.88: Watt'ın çift etkili, demir terazi kollu ve bir krank sistemi ile döner hareket sağlayan buhar makinesinin son biçimi. [Bernal, II, s. 581].



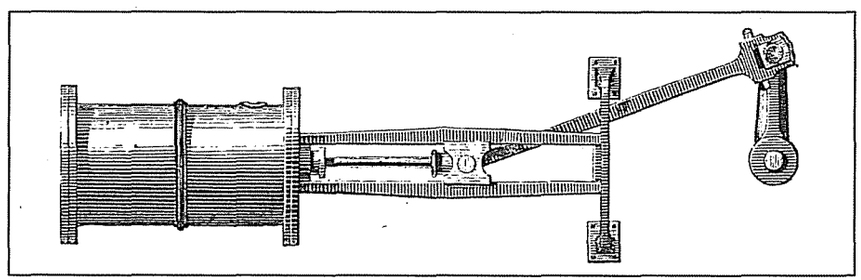
Şekil – 9.89: Sanayi casusluğunun ilk örneklerinden biri. Alman mühendis Georg Reichenbach tarafından 1791'de İngiltere'ye yaptığı gezide Soho'yu ziyareti sırasında Watt tarafından üretilmiş bir buhar makinesinin gizlice çizilmiş olan resmi. [Leithäser, s. 137].

BÖLÜM – 10

BUHAR MAKİNESİNİN GELİŞİMİ VE BUHAR ÇAĞI

BUHAR MAKİNESİNİN GELİŞİMİ

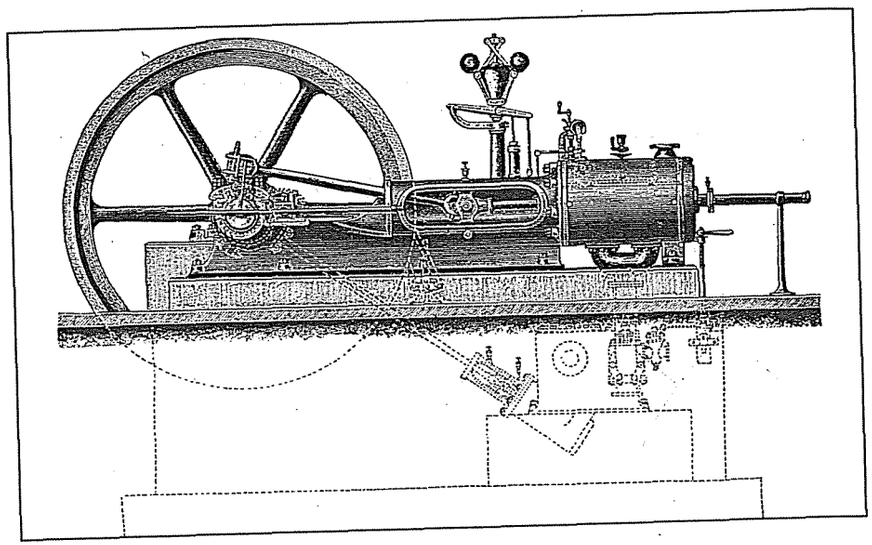
XVIII. yüzyıl sonuna gelindiğinde bütünüyle metalden yapılmış çift etkili, bir krank yardımıyla döner hareket veren ve terazi kollu bir buhar makinesi ortaya çıkmıştır. Buhar makinesi bu biçimiyle yaygın olarak kullanılmaya başlanmış olmakla birlikte ilk gelişme bazı durumlarda sorun yaratan terazi kolundan kurtulunmasıdır. Terazi kolu yerine piston kolu bir krank biyel sistemine bağlanarak bu sorun çözülmüştür. Bunun sonucunda silindirin yatay konumda olduğu buhar makineleri ortaya çıkmıştır. (Şekil – 10.1 ve 10.2).



Şekil – 10.1: Piston koluna bağlı bir krank biyel sistemi.

Buhar makinesinin gelişmesi ile birlikte daha iyi buhar valfı sistemleri geliştirilmiştir. En önemli sorunlardan biri buhar kazanlarıdır ve en yüksek verimi elde edebilmek için çeşitli buhar kazanları yapılmıştır. Yüksek basınçlı buhar ile çalışan kazan ve makineler yapılmış ise de bunlar çok fazla

yaygınlaşmamıştır. Silindirden çıkan buhar henüz sıcak ve belirli bir basınca sahip olduğundan bundan kondansöre göndermeden önce bir kez daha yararlanabilmek için çoklu genleşmeli buhar makineleri geliştirilmiştir.



Şekil – 10.2: Yatay konumda bir buhar makinesi. [Grunmach ve Rosenboom, s. 730].

Buhar makinesinin gelişimi ve yaygınlaşmasıyla birlikte enerji verimi de gündeme gelmiş, bu konudaki çalışmalar sonucunda termodinamik ortaya çıkmış ve ısının mekanik eşdeğeri saptanmıştır. Buhar makinelerinin bir güç kaynağı olarak sanayide kullanılması yanında buharlı lokomotifler ile demiryolları ve buharlı gemiler XIX. yüzyılı bir buhar çağı haline getirmiştir.

BUHAR MAKİNELERİNİN VALFLARININ GELİŞİMİ

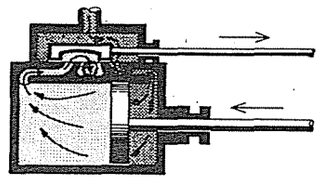
Buhar makinesinin gelişimi ile birlikte gelişen makinelere uygun daha iyi buhar valfı arayışları da başlamış ve bunun sonucunda farklı tiplerde buhar valfları yapılmıştır. Bunların her birinin kendine göre üstünlükleri ve kötü yanları vardır. Buhar valflarının tipleri örnekleri ile birlikte (Çizelge – 10.1)'de verilmiştir.

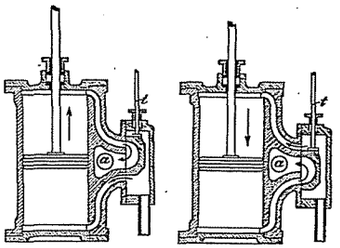
ÇİZELGE – 10.1

Buhar makinelerinde kullanılan çeşitli buhar valfı sistemleri

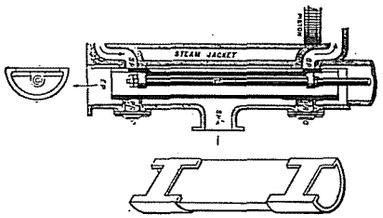
[Cossons, s. 76]

1. ***Sürgülü valf:*** 1799'da William Murdock (1754 – 1839) tarafından bulunmuştur. Silindir üzerine yerleştirilmiş bir metal kutu içinde düz bir yüzey üzerinde hareket eden bir sürgüden oluşur. Sürgünün ileri geri hareketi ile buhar giriş – çıkışları açılıp kapanır. Kutunun içindeki buharın basıncı sürgünün yüzeye sıkıca temasına yardımcı olur. Genellikle sürgünün ortası oyuk olup buhar çıkışı ortadadır.

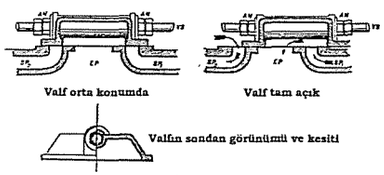




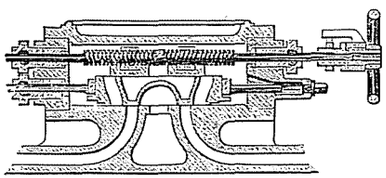
Sürgülü valfın çalışması. [Gruhmach ve Rosenboom, s725].



Murdock'un uzun "D" sürgülü valfı. [Hills, s. 84].

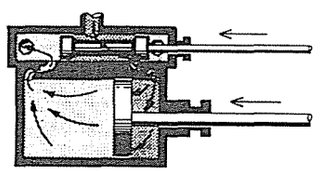


James Murray'ın kısa sürgülü valfı (1842). [Hills, s. 84].



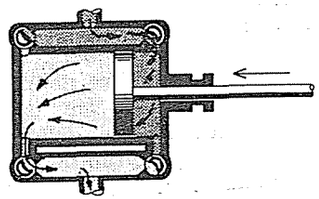
J.J. Meyer'in üzerinde bir genleşme valfı bulunan sürgülü valfı. [Hills, s. 84].

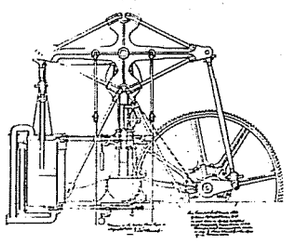
2. ***Pistonlu valf:*** Pistonlu valf sürgülü valfa benzer biçimde çalışır. Küçük bir silindir içinde bulunan iki pistondan oluşur. Pistonların ileri ve geri hareketi ile buhar giriş ve çıkışları açılıp kapanır. Sürgülü ve pistonlu valfların başlıca kötü yanı alınan ve atılan buhar için aynı kanalların kullanılması nedeniyle sürekli ısınma ve soğuma sonucunda ortaya çıkan ısı kaybıdır.



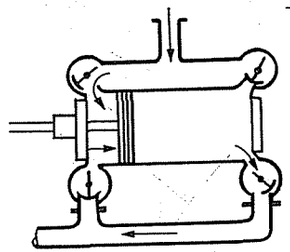
ÇİZELGE – 10.1 (Devam)

3. Corliss valfı: Bu valf Amerikalı George H. Corliss (1817 – 1888) tarafından geliştirilmiş ve 1849'da patenti alınmıştır. Buhar girişi ve çıkışı silindirin farklı uçlarından olduğundan ısı kaybı en aza inmiştir. Bu tür valflar büyük buhar makinelerinde yaygın olarak kullanılmıştır. Valflar birer yuva içinde kısmen dönen parçalardır ve bunlara bir valf çubuğu ile kumanda edilerek buhar giriş ve çıkışı sağlanır.



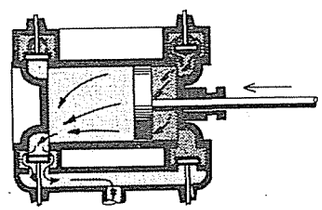


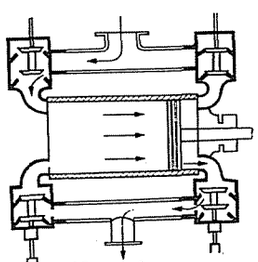
Corliss'in valf mekanizması konusundaki ilk çizimlerinden biri. [Hills, s. 179].



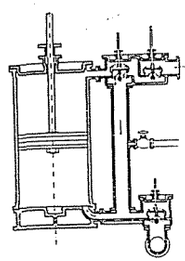
Corliss'in valfının çalışma şeması. [Somerscales, s. 282].

4. Drop (düşme) valf: Bu tür valflar buhar kutusunda bir yuva içinde bulunan dairesel parçalardır. Bir silindirde dört tane valf bulunur. Giriş valfları yükselerek buharın girişini sağlarlar ve bunun ardından bir mekanizma ile düşürülerek kapanırlar. Corliss valfı ve drop valf buhar kullanımında büyük ekonomi sağladıklarından özellikle tekstil fabrikalarındaki makinelerde kullanılmışlardır.





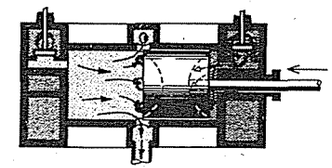
Drop valfın çalışma şeması. [Somerscales, s.262].

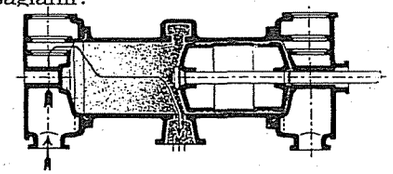


Bir Cornish pompa makinesinde valfların çalışması.

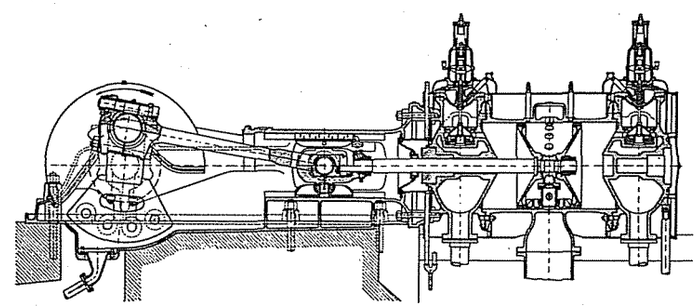
ÇİZELGE – 10.1 (Devam)

5. Uniflow makine: Jacob Perkins (1766 – 1849) tarafından 1827'de yapılmış olan uniflow makinede pistonun- içi boştur ve silindirin iki ucunda yalnız buhar giriş valfları vardır. Kullanılmış buharın atılması silindirin ortasından piston tarafından sağlanır.





Uniflow bir makinenin şematik kesiti. [Somerscales, s. 288].

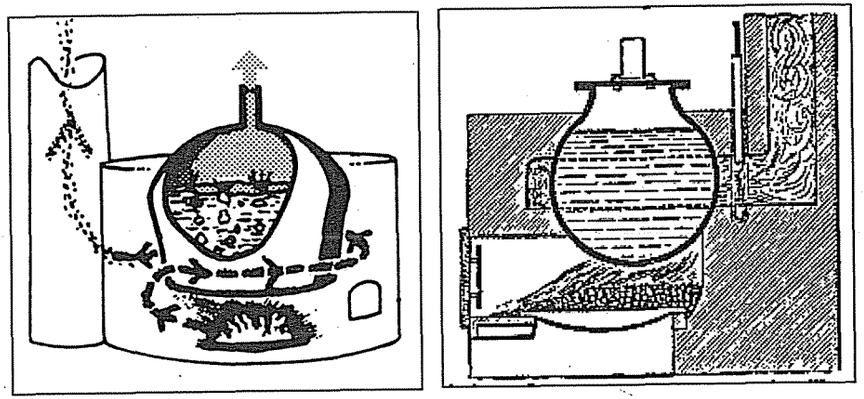


Sulzer tarafından üretilmiş olan tipik bir uniflow makinenin kesiti. [Hills, s. 266].

BUHAR KAZANLARI

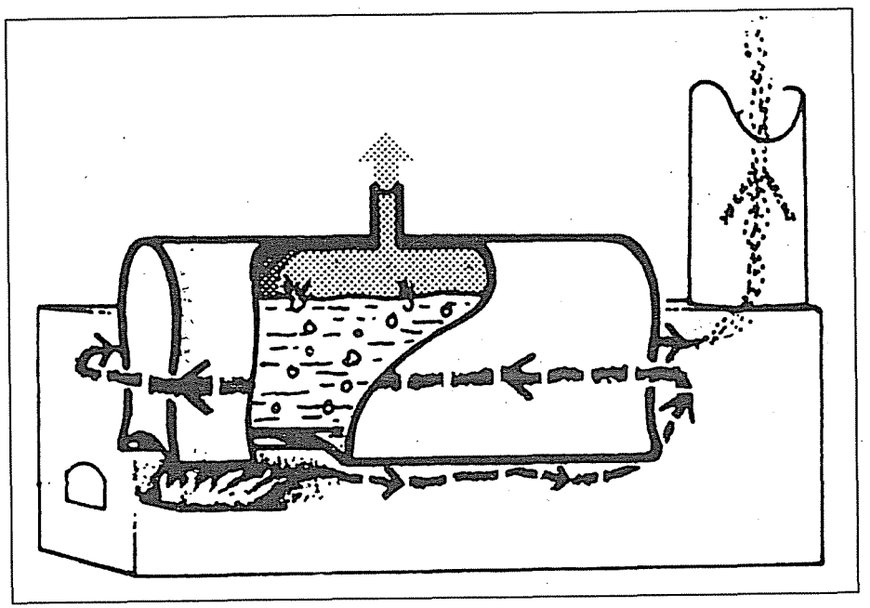
Buhar makinesinin gelişimi kadar bu makineye basınçlı buhar sağlayan buhar kazanlarının gelişimi de önemlidir. Burada başlıca kaygı yakıt tasarrufu sağlanmasıdır. Başlangıçtan itibaren çok değişik türde kazanlar ortaya çıkmış olmakla birlikte bunları belirli gruplar altında toplamak mümkündür.

1) Semaver tipi kazanlar: Dibi düz küresel bir kap biçimindeki bu tür kazanlarda ateş kazanın altında yanar ve sıcak yanma gazları kazanın çevresini dolaştıktan sonra bacaya gider. Newcomen makinelerinde kullanılmış olan kazanlar bu tiptendir. (Şekil – 10.3).

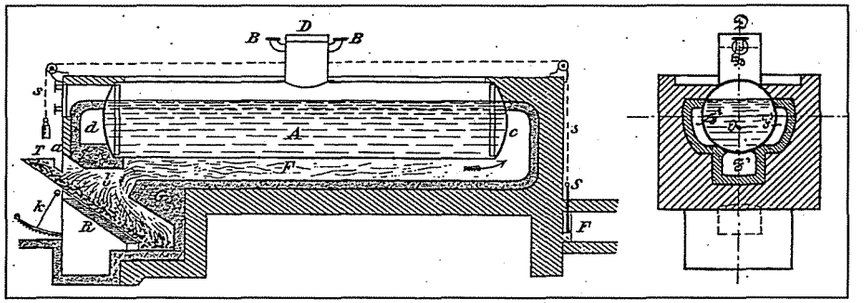


Şekil – 10.3: Semaver tipi buhar kazanı. [Cossons, s. 78].

2) Vagon tipi kazanlar: Bu tür kazanların ısıtma sistemi semaver tipi kazanlara benzemekle birlikte boyları uzundur. Kazanın altında yanan ateşten çıkan sıcak yanma gazları kazanın çevresinde dolaştıktan sonra bacaya gider. (Şekil – 10.4 ve 10.5).

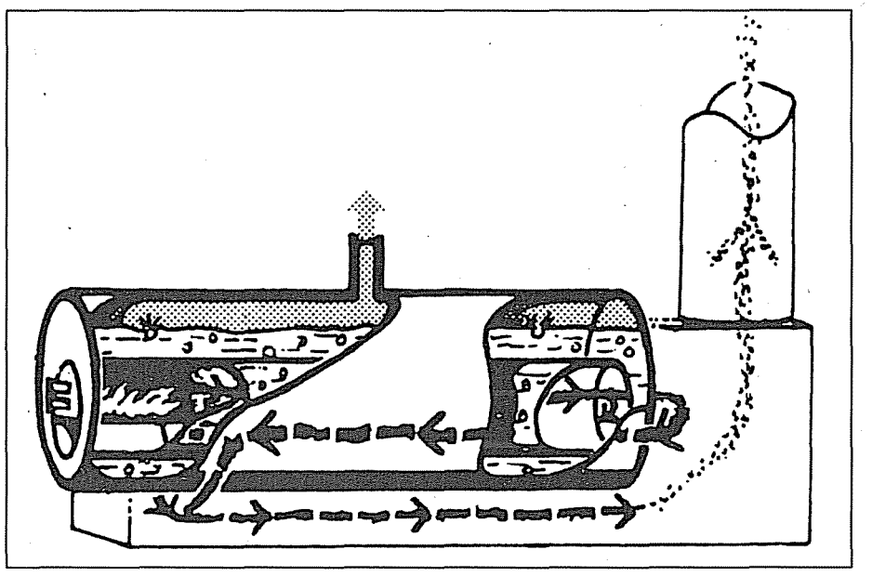


Şekil – 10.4: Vagon tipi buhar kazanı. [Cossons, s. 78].

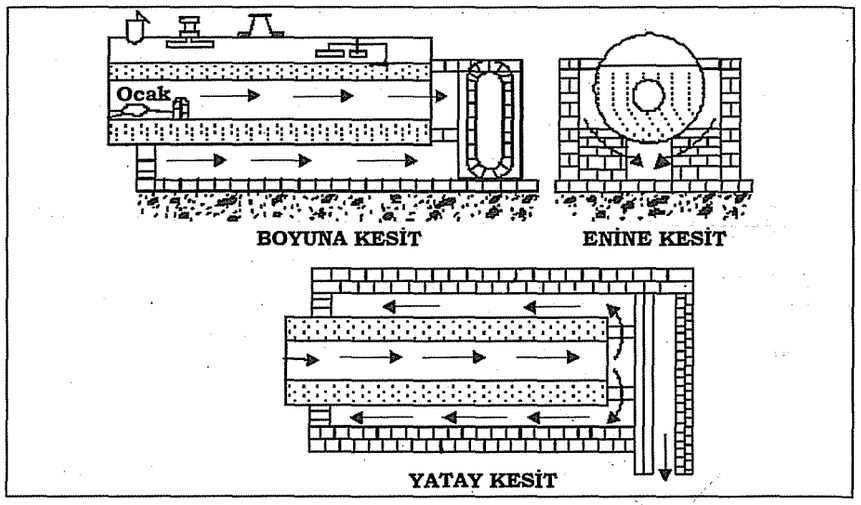


Şekil – 10.5: Vagon tipi silindirik bir buhar kazanının boyuna ve enine kesiti. [Grunmach ve Rosenboom, s. 691].

3) Cornish tipi kazanlar: Bunlar silindirik yapılı kazanlar olup ocak kazanın içindedir. Sıcak yanma gazları kazanın içinden geçtikten ve çevresinde dolandıktan sonra bacaya giderler. (Şekil – 10.6 ve 10.7).

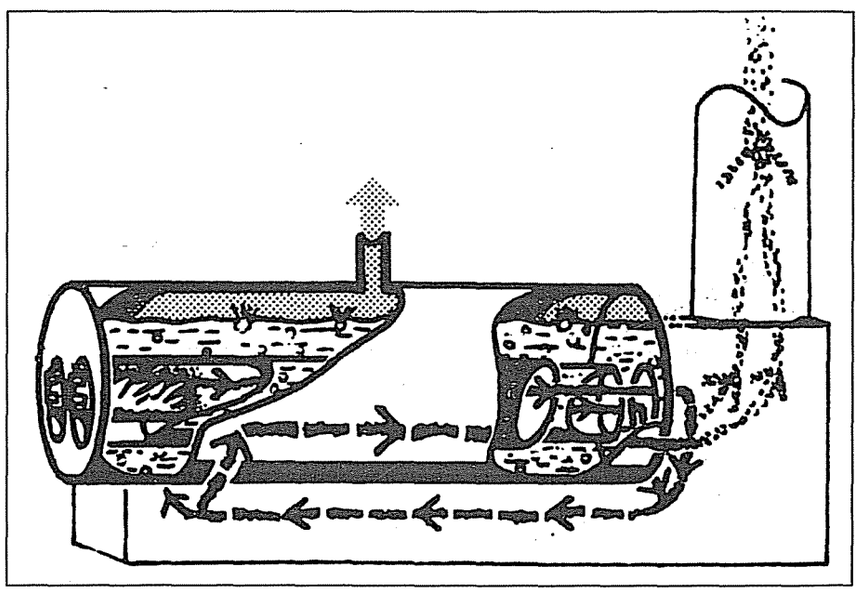


Şekil – 10.6: Cornish tipi buhar kazanı. Kazan içindeki ocaktan çıkan sıcak yanma gazları kazanın çevresinde ters yönde dolandıktan sonra bacaya gderler. [Cossons, s. 78].

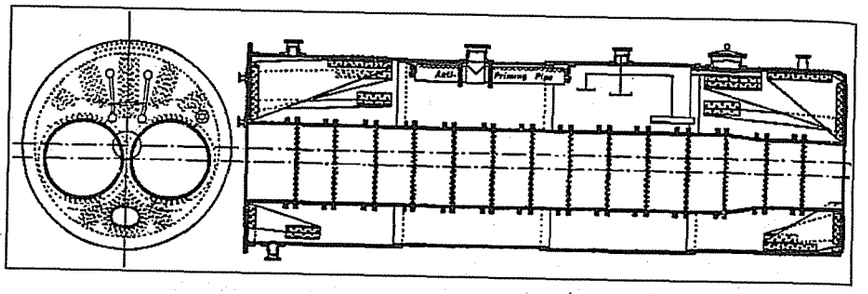


Şekil – 10.7: Cornish tipi buhar kazanında sıcak gazların izlediği yol.

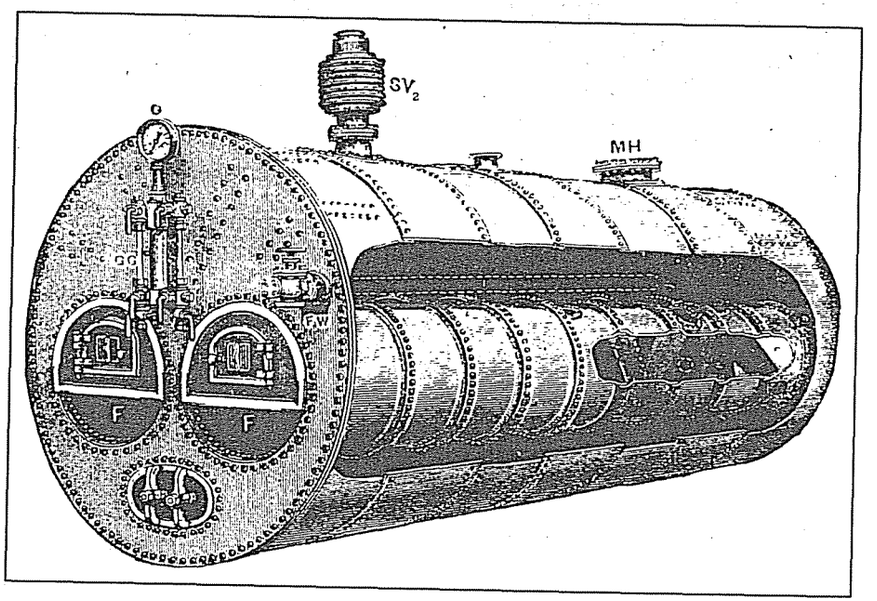
4) Lancashire tipi kazanlar: Bunların Cornish tipi kazanlardan tek farkı iki ocaklı olmalarıdır. (Şekil – 10.8, 10.9 ve 10.10).



Şekil – 10.8: Lancashire tipi buhar kazanı. [Cossons, s. 78].

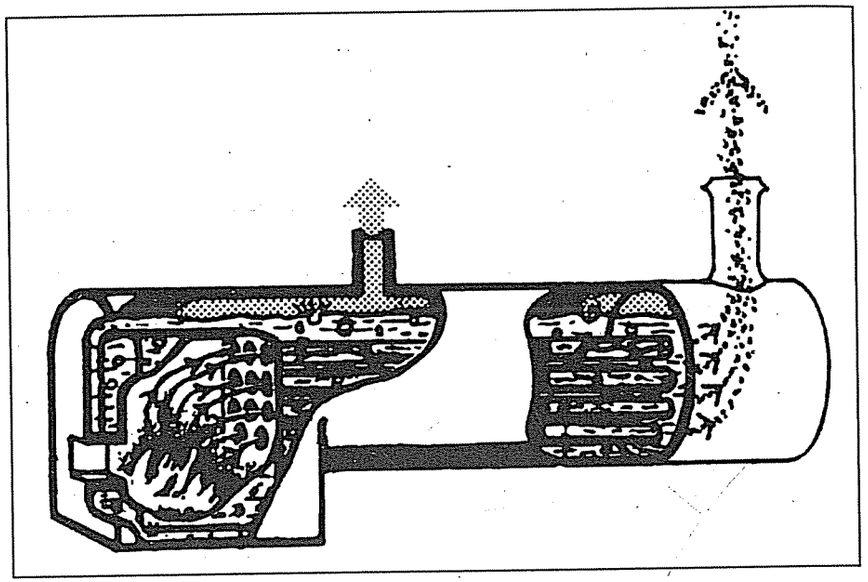


Şekil – 10.9: Lancashire tipi buhar kazanının enine ve boyuna kesiti.

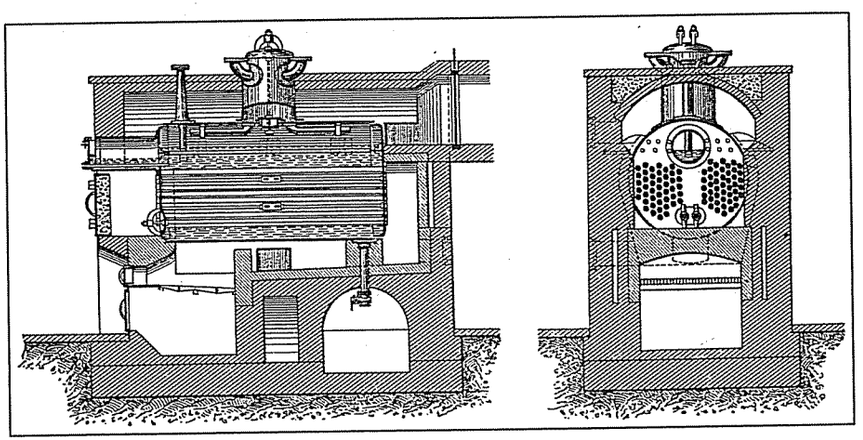


Şekil – 10.10: Lancashire tipi buhar kazanı. (1880'ler). [Hills, s. 134].

5) Alev borulu kazanlar: Bu tip kazanlar üç bölümden oluşur. Önde bulunan ocaktan çıkan alevler ve sıcak yanma gazları kazanın içine yerleştirilmiş olan çok sayıda alev borusundan geçerek kazanın arkasındaki duman kutusunda toplanıp bacaya gider. Alev borularının içinde biriken yanma artıkları ısı iletimini azaltacağından belirli aralıklarla alev borularının temizlenmesi gereklidir. (Şekil – 10.11 ve 10.12). Bu tür kazanların küçük boyutta olan ve alev boruları dikey konumda bulunan tipleri de yapılmıştır.

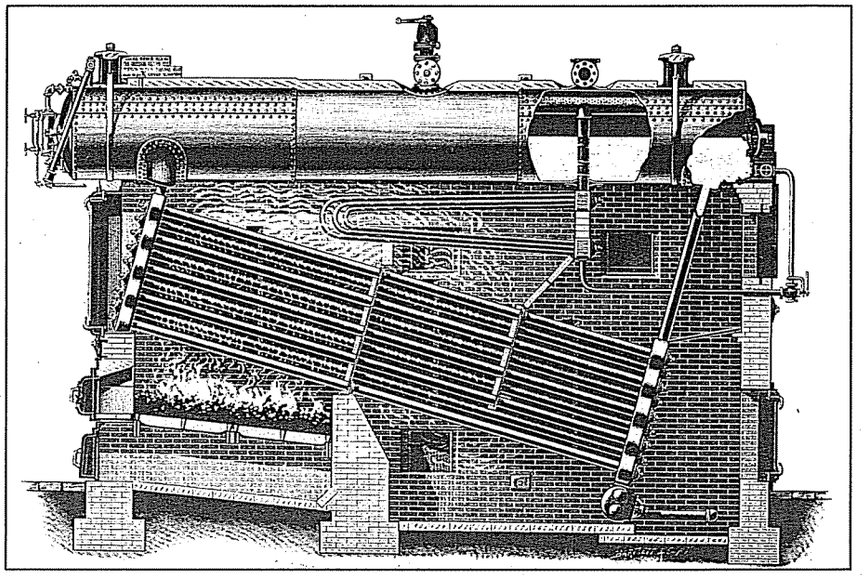


Şekil – 10.11: Alev borulu buhar kazanı. [Cossons, s. 78].

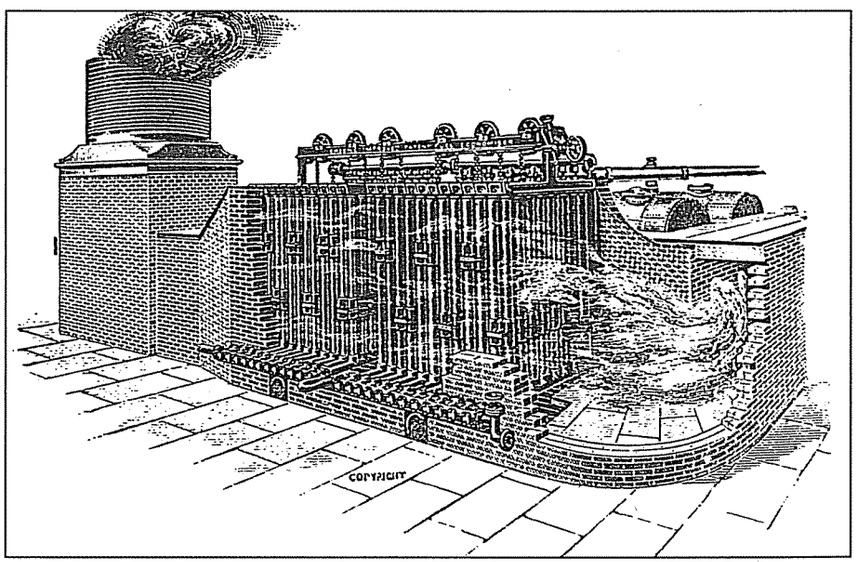


Şekil – 10.12: Alev borulu buhar kazanı. [Grunmach ve Rosenboom, s. 696].

6) Su borulu kazanlar: Bu tür kazanlarda sıcak yanma gazlarının suyun içindeki borulardan geçirilmesi yerine su ocak içindeki ince borulardan geçirilerek ısıtılır. Ocak içindeki su borularının eğimli olması sıcaklık farkı nedeniyle suyun kazan içinde dolanımını sağlar. (Şekil – 10.13 ve 10.14).



Şekil – 10.13: Babcock & Wilcox tipi su borulu buhar kazanı. [Hills, s. 252



Şekil – 10.14: Edward Gren tarafından 1845'de patenti alınan dikey su borulu ve su borularının üzerinde biriken kurumları temizlemek için özel düzeneği bulunan buhar kazanı. [Lilley, s. 136].

YÜKSEK BASINÇLI BUHAR MAKİNELERİ

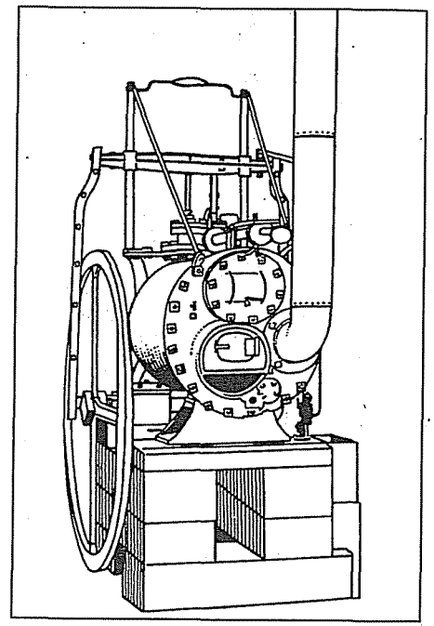
Yüksek basınçlı buharla çalışan makineler genel olarak buharlı araba ve lokomotif yapmak amacıyla üretilmişlerdir. Bunlar kondansörsüz buhar makineleridir, yani silindirden çıkan buhar doğrudan havaya atılır. Yüksek basınçlı buhar ile çalıştıklarından silindir çapları aynı işi yapan ve düşük basınçlı buharla çalışan makinelere oranla çok daha küçüktür ve bu da makinenin boyutlarının küçülmesini sağlar. Ancak bu tür makineler için yüksek basınca dayanıklı özel buhar kazanlarına gerek vardır. İngiltere'de Richard Trevithick (1771 – 1833)[1] (Şekil – 10.15) 1797'de lokomotif yapmak amacıyla yüksek basınçlı buhar makinesi ve kazanı üzerinde çalışmaya başladı. 1801'de kullandığı ilk kazan dökme demirden semaver tipi bir kazandı ve bu makine ile bir buharlı çekici (lokomotif) yaptı. (Şekil – 10.16). 1803'de dökme demirden yatay bir kazan kullanarak makinesini geliştirdi ve bununla raylar üzerinde çekim yapabilen bir lokomotif yaptı. (Şekil – 10.17 ve 10.18). Amerikalı mucit Oliver Evans (1755 – 1819)[2] (Şekil – 10.20) 1792'de bir buharlı araba yapmayı planladı ve bunun için yüksek basınçlı bir buhar makinesi tasarladı. Bu makineyi ve kazanını teknik sorunlar nedeniyle 1803'de gerçekleştirebildi ve 1804'de patentini aldı. (Şekil – 10.21 ve 10.22).

---

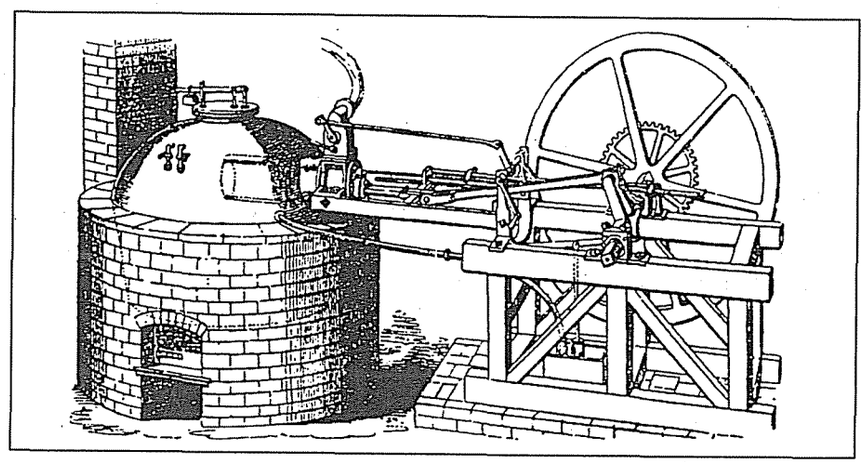
1 *Richard Trevithick (1771 – 1833):* Babasının yöneticilik yaptığı Cornwall'daki maden ocaklarında makinelere büyük ilgi duyarak kendini yetiştirdi ve daha 19 yaşındayken maden ocaklarında mühendis olarak çalışmaya başladı. 1797'de 10 kg/cm² lik basınçla çalışan yüksek basınçlı buhar kazanı ve makinesini geliştirdi. 1801'de bununla raylar üzerindeki vagonları çekmek için bir buharlı araba yaparak 1803'de 10 km/h hızına uluştı. Daha sonra geliştirdiği bir başka lokomotif 21 Şubat 1804'de 10 ton demir ve 70 kişiyi 9 mil/h (14 km/h) bir hızla taşıdı. Buluşlarını üretmek üzere kurduğu şirketin iflası üzerine 1816'da Peru'ya giderek buradaki madenlerde çalıştı ve 1827'de geri döndüğünde buluşlarından başkalarının zengin olduğunu gördü. [Day ve McNeil, s. 714 – 715].

2 *Oliver Evans (1755 – 1819):* Amerika'da Newport'da doğdu, 17 yaşında iken bir at arabası yapımcısının yanına çırak olarak girdi ve Amerikan Bağımsızlık Savaşı'na katıldı. 1782'de otomatik bir un değirmeni yaptı ve bu değirmen makinesi hızla yaygınlaştı. 1782'ye gelindiğinde yüzlerce değirmen onun makinelerini kullanıyordu. 1792'de buharlı araba yapımına yöneldi. Bunun için 1803'de yüksek basınca dayanıklı buhar kazanı ve yüksek basınçlı buharla çalışan bir buhar makinesi gerçekleştirerek 1804'de patentini aldı ve 1805'de de buharlı arabasını yaptı. [Day ve McNeil, s. 244 – 245].

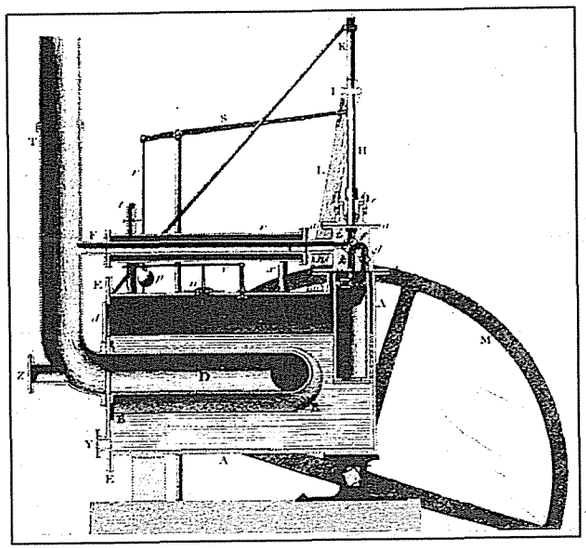
Şekil – 10.15: Richard Trevithick. (1771 – 1833).



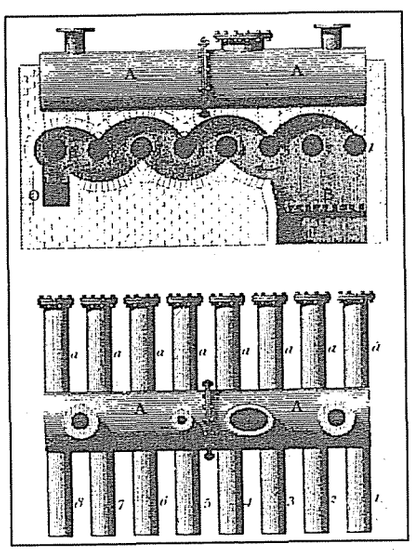
Şeil – 10.17: Trevithick'in 1802'de patentini aldığı yüksek basınçlı buhar makinesi. [Derry ve Williams, s. 325].



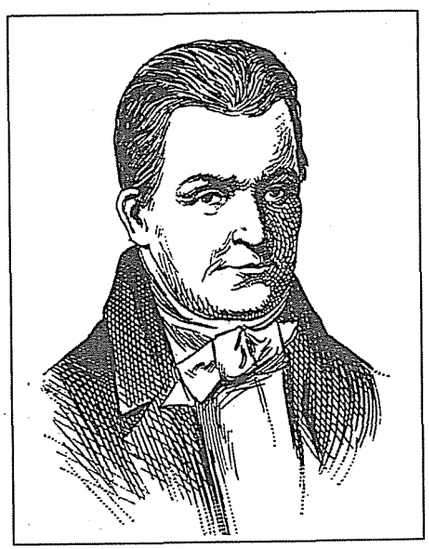
Şekil – 10.16: Trevithick tarafından 1801'de yapılan küresel kazanlı yüksek basınçlı buhar makinesi. [Derry ve Williams, s. 324].



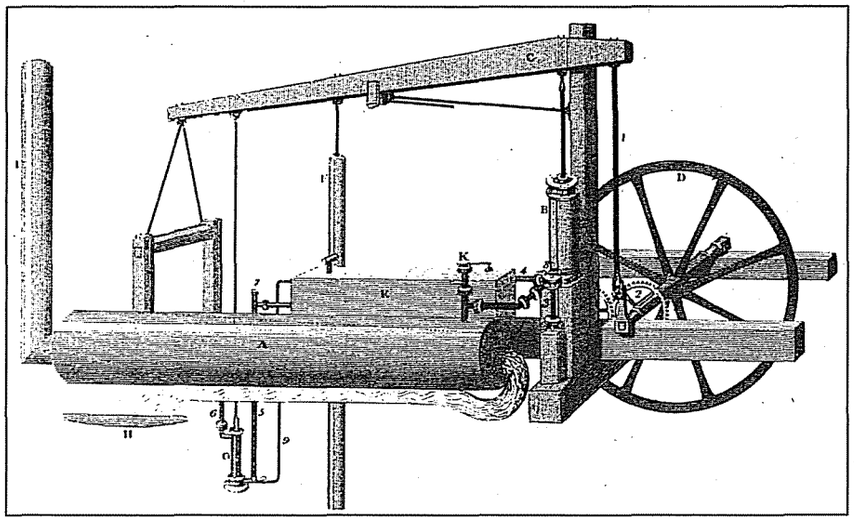
Şekil – 10.18: Trevithick'in yüksek basınçlı buhar makinesi ve kazanı. [Hills, s. 128].



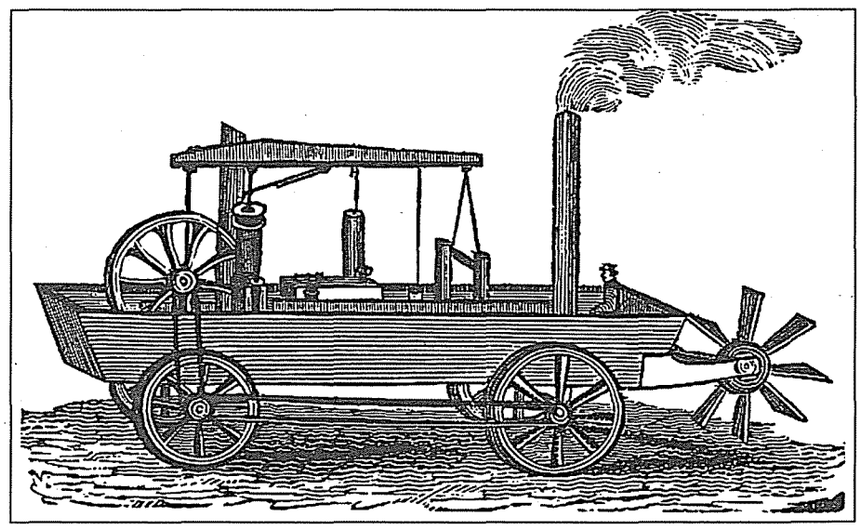
Şekil – 10.19: Arthur Woolf tarafından 1803'de dökme demirden yapılan yüksek basınçlı buhar kazanı. [Hills, s. 130].



Şeil – 10.20: Amerikalı mühendis ve işadamı Oliver Evans. (1755 – 1819).



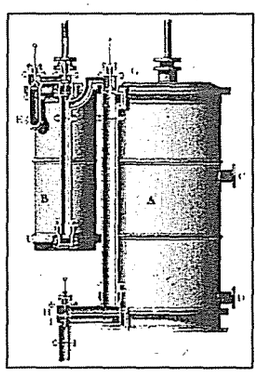
Şekil – 10.21: Evans'ın "grasshopper" [çekirge] adlı yüksek basınçlı buhar makinesi ve kazanı. [Hills, s. 98].



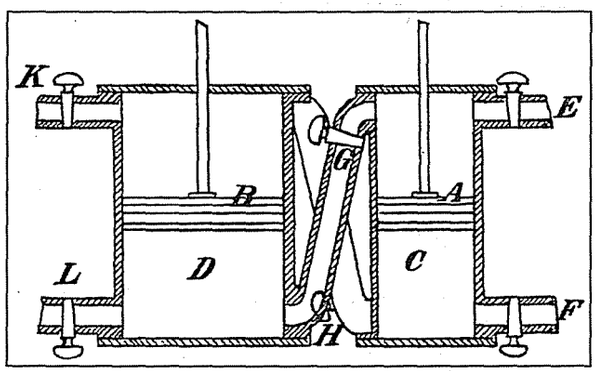
Şekil – 10.22: Oliver Evans'ın (1755 – 1819) karada ve denizde gidebilen "Orukter [Kazıcı] Amphibolos" adını verdiği arabası. Bu araba 1805'de gerçekleştirilmiş ve Philadelphia sokaklarında dolaşmıştır. [Kirby, s. 270 (*The Mechanic*, July 1834)].

ÇOKLU GENLEŞMELİ (BİLEŞİK) MAKİNELER

Buhar makinesinde pistonu hareket ettirdikten sonra silindiri terk eden buharın henüz iş yapabilecek belirli bir basıncı vardır. Bundan yararlanmak isteyen İngiliz mühendis Arthur Woolf (1766 – 1837) makinedeki silindirin (yüksek basınç silindiri) yanına daha büyük çaplı ikinci bir silindir (düşük basınç silindiri) yerleştirdi. Yüksek basınç silindirinde pistonu iten buhar buradan ikinci silindire geçer ve bunun pistonunu da ittikten sonra kondansöre gider. (Şekil – 10.23 ve 10.24). Woolf'un ilk yaptığı makine oldukça küçük olup Cornwall'da Wheal Fortune'da havalandırma için kullanıldı. Woolf ilk büyük makinesini 1814'de Cornwall madenlerinden su pompalamak için tasarladı. Bu makinenin yüksek basınç silindiri 61 cm ve düşük basınç silindiri de 114 cm çapındaydı ve Boulton & Watt makinesinin üçte biri kadar kömür harcamaktaydı. (Şekil – 10.25).

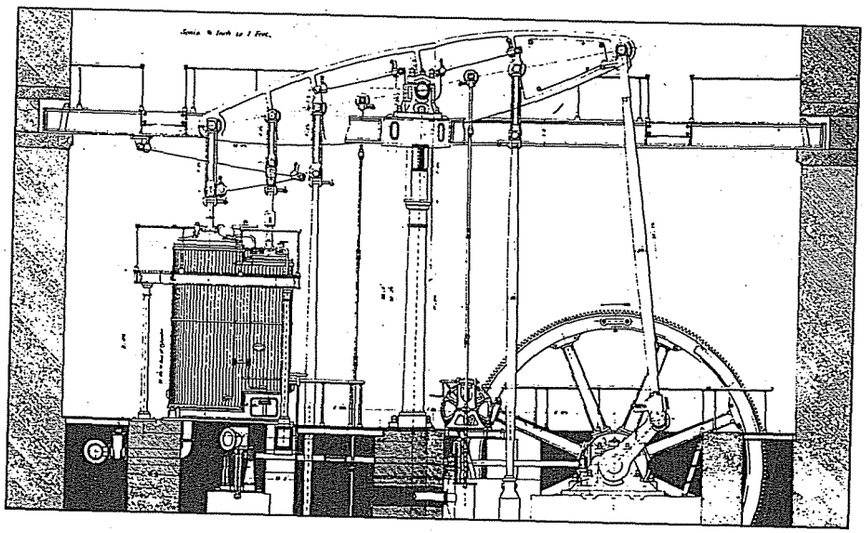


Şekil – 10.23: Woolf'un makinesinde yüksek ve düşük basınçlı silindirlerin konumu. [Hills, s. 107].



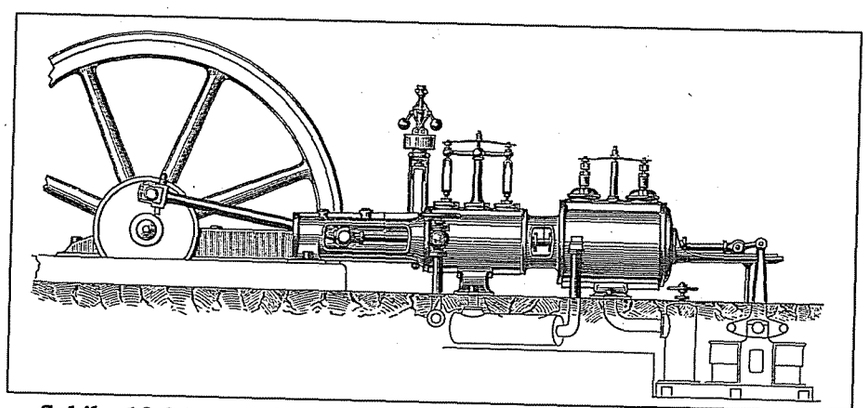
Şeil – 10.24: Woolf tipi bileşik silindirlerde buharın silindirler anasındaki geçiş yolları. [Grunmach ve Rosenboom, s. 682].

Buharın birden fazla silindirde genleşme yaptığı buhar makinelerine *çoklu genleşmeli* veya *compound* [bileşik] buhar makinesi adı verilir. Önce ikili ve ardından üçlü genleşmeli makineler üretildi. Bu makinelerde silindirler aynı piston kolu üzerinde peşpeşe veya ayrı piston kolları ile yan yana yer alırlar.



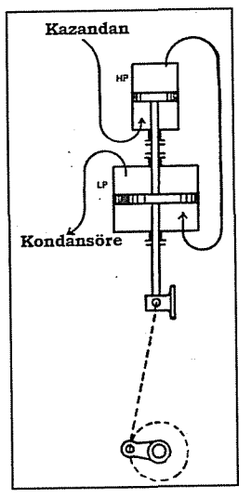
Şekil – 10.25: Arthur Woolf'un ilkesine göre çalışan iki silindirli ve terazi kollu bileşik buhar makinesi. [Hills, s. 154 – 155].

a) Silindirleri ardışık dizili bileşik makineler: Bu tür makineler Woolf ilkesine göre çalışır. (Şekil – 10.26, 10.27, 10.28, 10.29 ve 10.30). Her iki silindirdeki pistonlar aynı piston kolu üzerine bağlıdır. Buhar piston kolunun hareketi sırasında yüksek basınç (HP) silindirinden alçak basınç (LP) silindirine doğrudan geçer. Silindirlerdeki olaylar eşzamanlı düzenlenmiş olduğundan iki silindir arasında bir buhar toplayıcıya gerek yoktur.

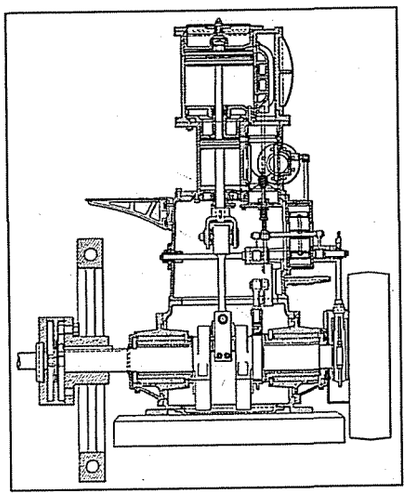


Şekil – 10.26: Yatay konumda ve silindirleri ardışık dizili bileşik buhar makinesi.

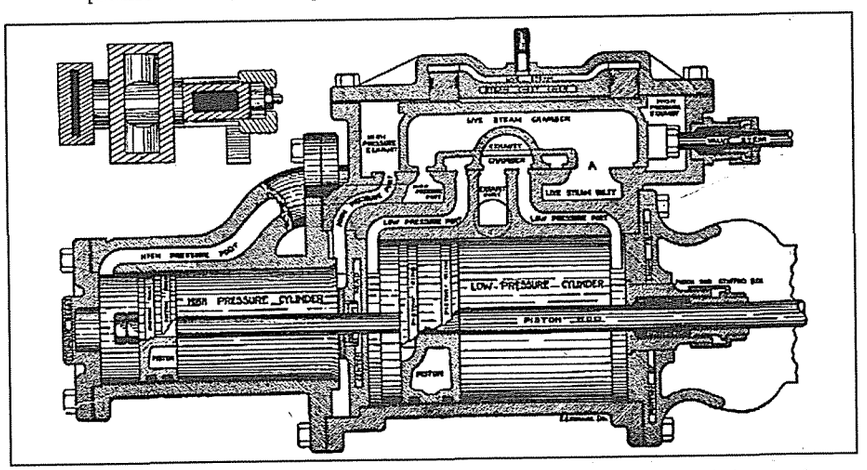
Pistonların aynı kol üzerine bağlı olduğu bu tür makinelere *silindirleri ardışık dizili bileşik (tandem com-pound)* makineler adı verilir. Bu makineler yatay veya dikey konumda olabilirler. Karada kullanılan orta büyüklükteki sabit makineler genellikle yatay konumda ve gemilerde kullanılanlar ise dikey konumdadır.



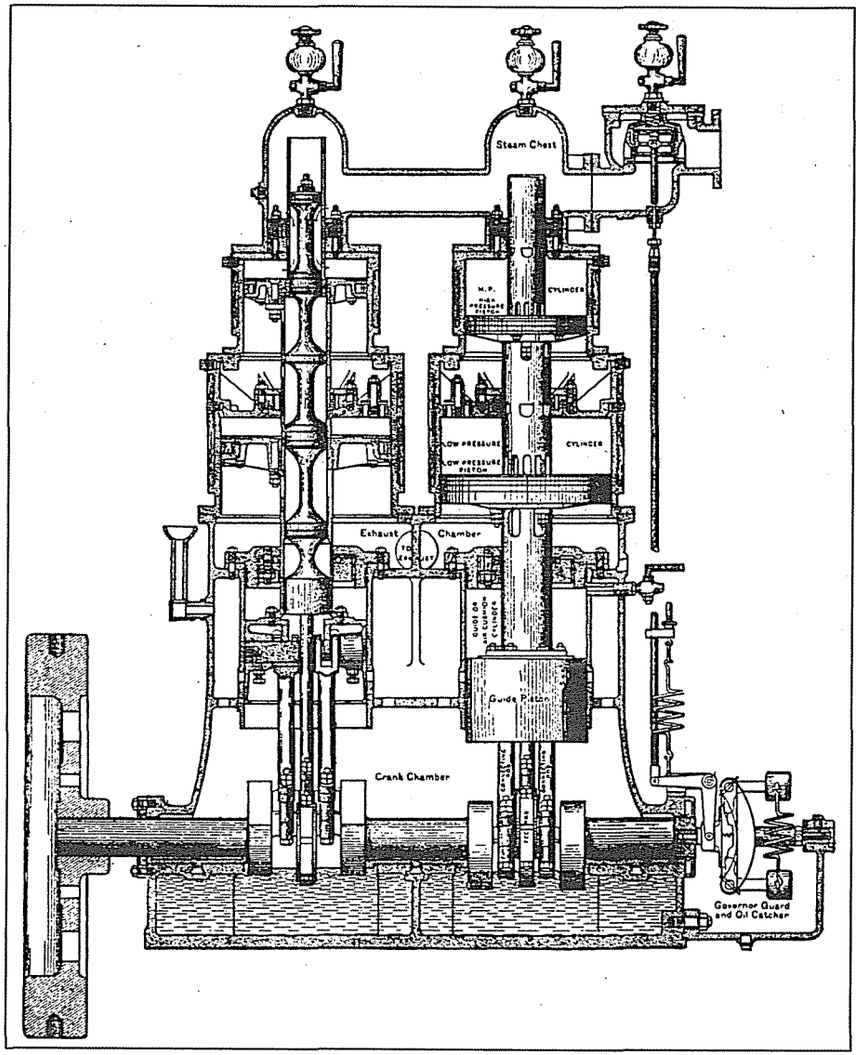
Şekil – 10.27: Ardışık silindirli buhar makinesinin çalışma ilkesi. [Somerscales, s. 280].



Şeil – 10.28: Bir düşey konumlu ve ardışık silindirli buhar makinesinin kesiti.



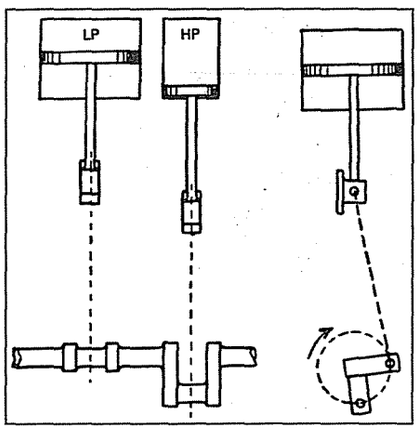
Şekil – 10.29: Bir ardışık silindirli makinede buharın yüksek basınçlı silindirden düşük basınçlı silindire geçmesini sağlayan valf sistemi.



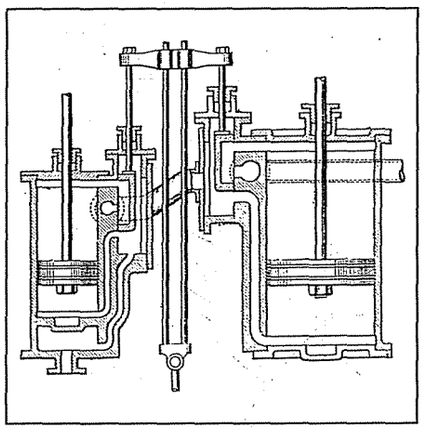
Şekil – 10.30: 1874'de Peter Willans tarafından yapılan dikey konumlu ikiz ardışık silindirli ve piston kolu üzerinde merkezi valflı bileşik buhar makinesi. [Hills, s. 216].

b) Silindirleri yan yana dizili bileşik makineler: Bu tür düzenlemede kranklar arasındaki açı 90° dir. Bu durum krankları arasında 180° açı bulunan orijinal Woof makinesine oranla makinenin daha kolay harekete geçmesini

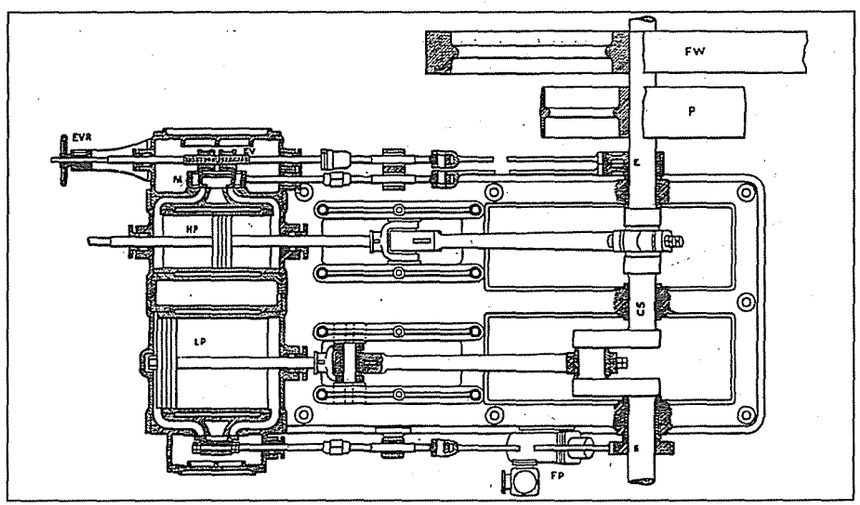
sağlar.Bununla birlikte silindirlerdeki olaylar eşzamanlı olmayıp birbirini izlediğinden (HP) ve (LP) silindirleri arasında bir buhar toplayıcıya gerek vardır. (Şekil – 10.31, 10.32, 10.33, 10.34 ve 10.35).



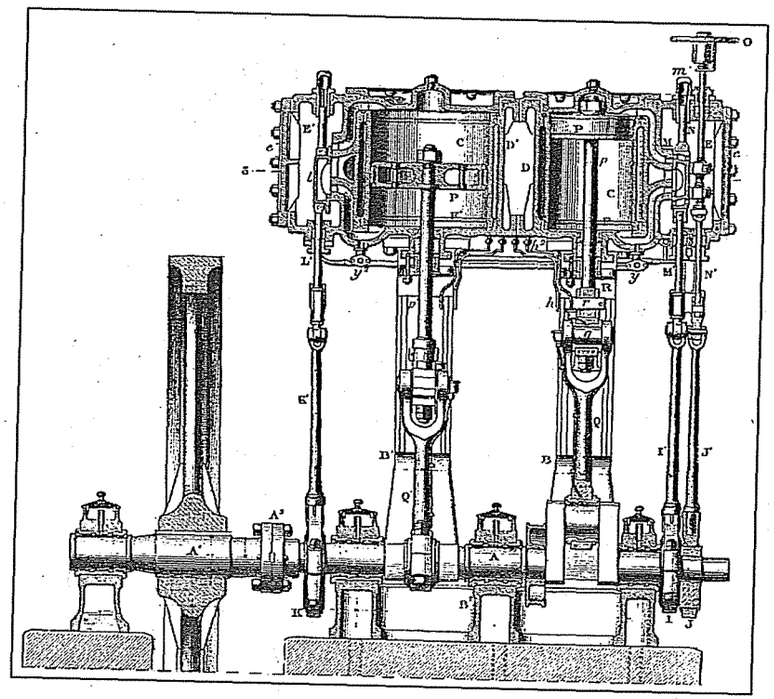
Şekil – 10.31: Yanyana silindirli bileşik makinede silindirlerin ve krankın önden (solda) ve yandan (sağda) görünümü. [Somerscales, s. 280].



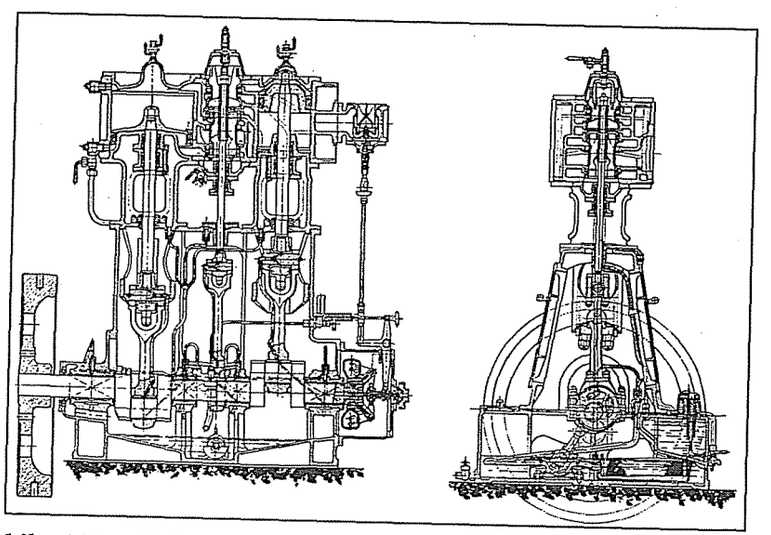
Şekil – 10.32: Yanyana silindirli bileşik makinede buharın silindirler arasında geçişi ve buhar valfları. [Law, s. 20].



Şekil – 10.33: Yatay konumda yan yana iki silindirli bileşik bir makinenin yatay kesiti.

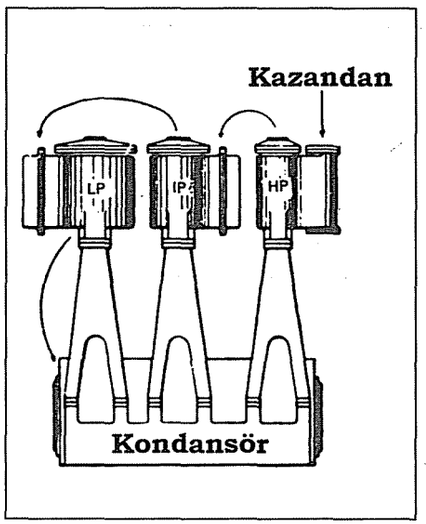


Şekil – 10.34: Düşey konumda yanyana iki silindir içeren bileşik makine.

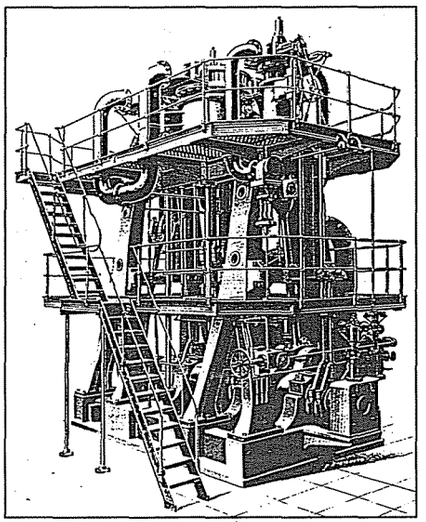


Şekil – 10.35: Bellis'in kendinden yağlanan düşey konumda iki silindirli bileşik makinesi. [Hills, s. 318].

c) Üçlü genleşmeli ve üç silindirli (kranklı) makineler: Bu tür makinelerde yüksek ve düşük basınç silindirleri arasında bir tane orta basınç silindiri vardır. (Şekil – 10.36 ve 10.37). Yüksek basınç (HP) silindirinde pistonlu buhar valfı, orta basınç (IP) silindiri ile düşük basınç (LP) silindirinde sürgülü buhar velfları vardır. Her iki genleşme basamağı arasına buhar toplayıcılar yerleştirilmiştir ve kranklar arasındaki açı 120° dir. Bu tür buhar makineleri genellikle gemilerde kullanılmıştır.

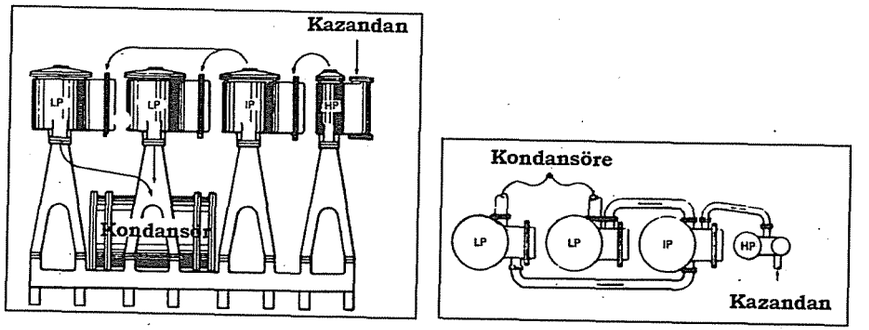


Şeil – 10.36: Düşey konumda üçlü genleşmeli bileşik bir buhar makinesinin şematik görünümü. [Somerscales, s. 280].

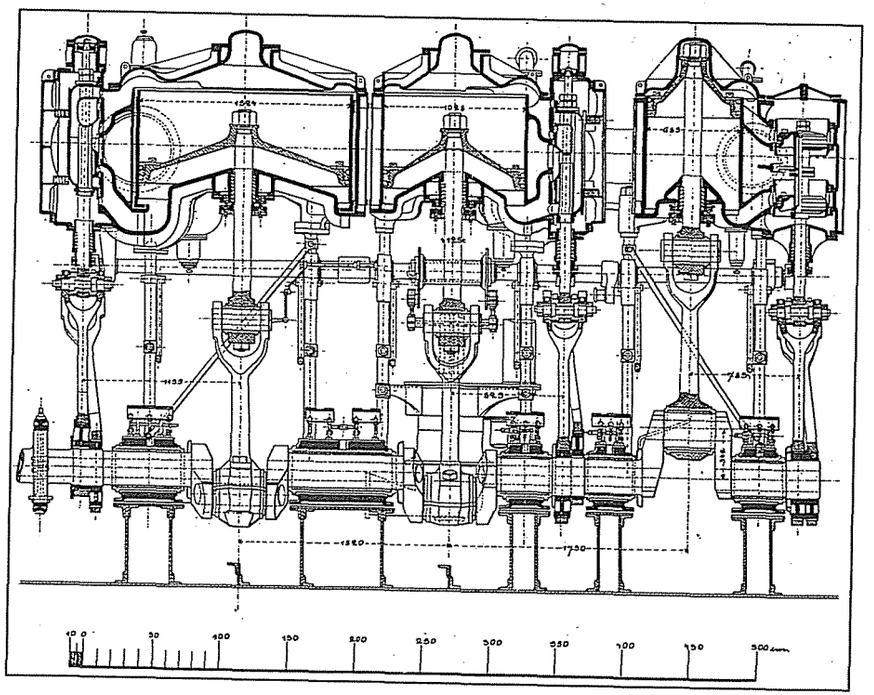


Şekil – 10.37: Ters düşey konumda üçlü genleşmeli sabit buhar makinesi. [Hills, s. 245].

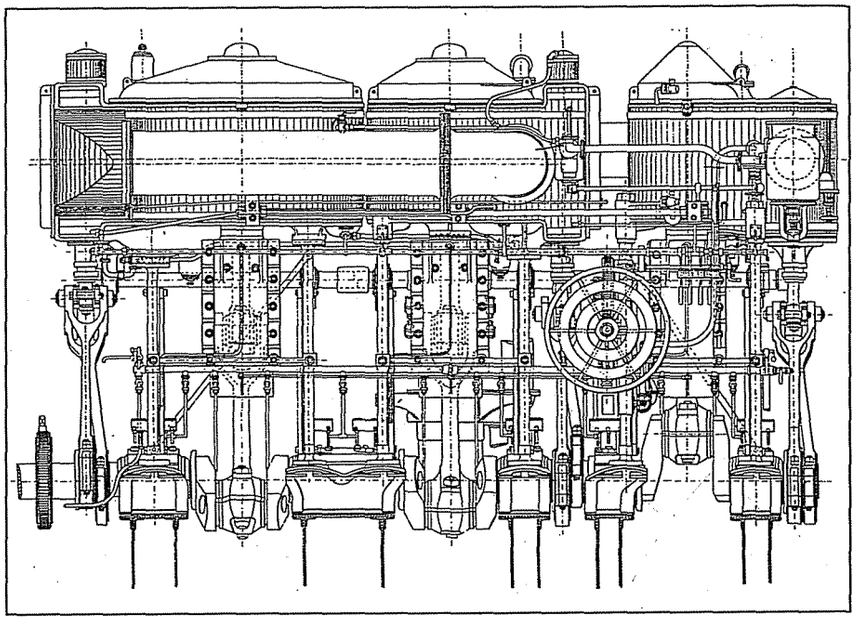
d) Üçlü genleşmeli ve dört silindirli (kranklı) makineler: Üçlü genleşmeli büyük çaptaki makineler durumunda düşük basınç (LP) silindirinin çapının çok büyük olmasından kaçınmak için bu silindir iki eşit silindire bölünmüştür. Genleşme basamaklarını birbirine bağlayan buhar borularının çapı aynı zamanda buhar toplayıcı görevini görmeleri için yeterince büyük tutulmuştur. (Şekil – 10.38).



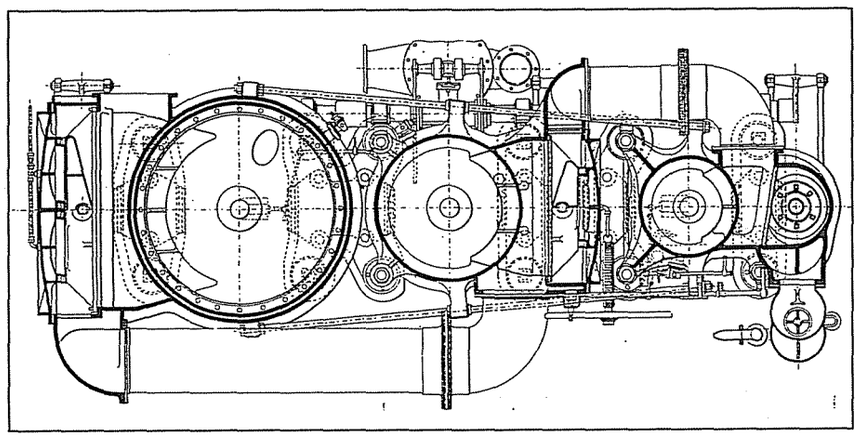
Şekil – 10.38: Düşey konumda üçlü genleşmeli ve dört silindirli bileşik bir buhar makinesinin önden ve üstten şematik görünümü. [Somerscales, s. 280].



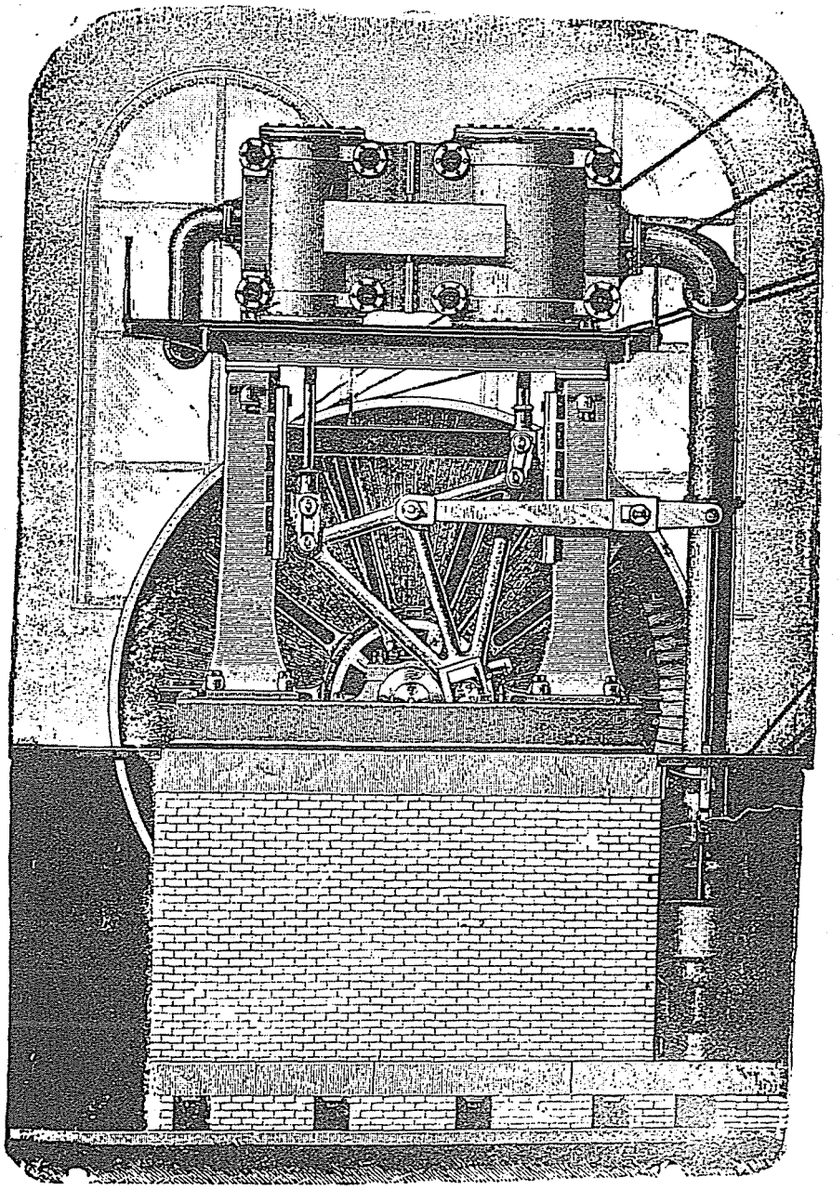
Şekil – 10.39a: Üçlü genleşmeli bir gemi makinesinin boyuna kesiti. Bu makine İngiltere'de Newcastle'da R. & W. Hawthorn, Leslie & Co. tarafından üretilmiştir. [Uhland, IV, Levha 29 – 32].



Şekil – 10.39b: Üçlü genleşmeli bir gemi makinesinin yandan görünümü. (R. & W. Hawthorn, Leslie & Co.). [Uhland, IV, Levha 29 – 32].



Şekil – 10.39c: Üçlü genleşmeli bir gemi makinesinin üstten görünümü. (R. & W. Hawthorn, Leslie & Co.). [Uhland, IV, Levha 29 – 32].



Şekil – 10.40: İngiltere'de Bolton'da "John Musgrave & Sons" firması tarafından 1913'de üretilmiş ölü noktası olmayan üçgen biyelli buhar makinesi. [Hills, s. 247].

BUHAR MAKİNESİ TİPLERİ

Buhar makineleri zaman içinde pistonun yaptığı iniş çıkış hareketinin döner harekete dönüştürülmesinden başlayarak sürekli olarak gelişim göstermiştir. Makineler üzerinde kullanım alanlarına göre uyarlama ve değişimler yapıldığı gibi bunların yanında farklı sistemlerde makineler de ortaya konulmuştur. Bütün bu yapılanların esas amaçlarından biri de makinenin zaten düşük olan verimini arttırabilmek ve bunun sonucunda kömür kullanımını veya başka bir deyimle enerji maliyetini azaltmaktır.

Buhar makinelerini kullanım alanlarına göre aşağıdaki biçimde sınıflandırılabilir:

1) Sabit buhar makineleri: Bunlar karada güç elde etmek için kullanılan genellikle yatay konumlu, basit veya bileşik ve kondansörlü makinelerdir,

2) Gemi makineleri: Bunlar genellikle dikey konumda, çoklu genleşmeli ve kondansörlü makinelerdir,

3) Lokomotif makineleri: Bunlar kondansörsüz ve genellikle yüksek basınçlı buharla calışan makinelerdir.

4) Lokomobiller (Taşınabilen buhar makineleri): Bunlar altına dört tekerlek takılmış bir buhar kazanının üstüne yerleştirilmiş kondansörsüz buhar makinesinden oluşur ve çekilerek istenilen yere götürülebilirler.

5) Buharlı arabalar: Bunlar kondansörsüz buhar makinesi ile hareket eden çekici ve makinelerdir.

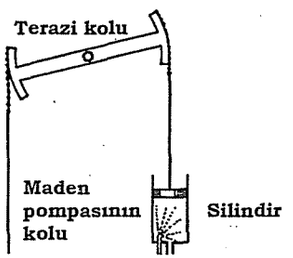
Buhar makinelerinin çalışma sistemlerine göre yapılmış olan bir sınıflandırması[3] örnekleri ile birlikte (Çizelge – 10.2)'de topluca verilmiştir.

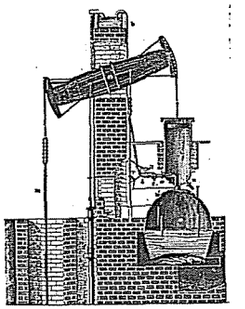
3 Neil Cossons, *The BP Book of Industrial Archaelogy*, 3rd ed., Devon 1993, s. 70 – 75.

ÇİZELGE – 10.2
Üretilmiş olan buhar makinelerinin tipleri
(Şemalarda basitlik için makinelerin yalnız hareket eden kısımları gösterilmiştir)

1. Newcomen'in terazi kollu atmosferik makinesi

Madenlerdeki su pompalarını çalıştırmak için geliştirilmiştir. Piston buhar basıncı ile yukarı itilir, silindirin içine su püskürtülerek pistonun içindeki buharın yoğunlaşması sonucunda silindir içinde kısmi vakum oluşturulur ve pistonun güç sağlayan hareketi atmosfer basıncının etkisiyle olur.

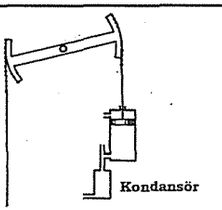


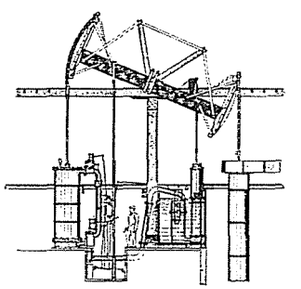


[Grunmach ve Rosenboom, s. 676]

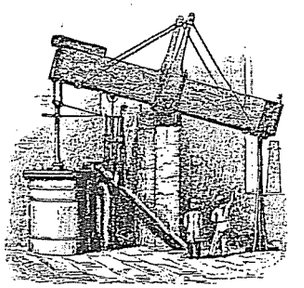
2. Watt'ın tek etkili ve terazi kollu makinesi

Buharın ayrı bir kapta – yani ayrı bir kondansörde – yoğunlaştırılması ile makinenin verimi arttırılmış ve böylece silindirin ardı ardına ısıtılıp soğutulması ortadan kaldırılmıştır.





1775'de kurulmuş ve 125 yıl sürekli olarak çalışmış olan bir erken dönem Boulton ve Watt pompa makinesi.
[Derry ve Williams, s. 321].

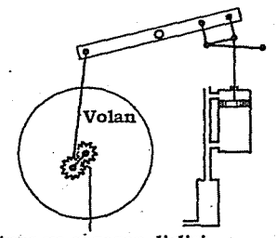


Orijinal bir Boulton ve Watt makinesi. [Cossons, s. 64].

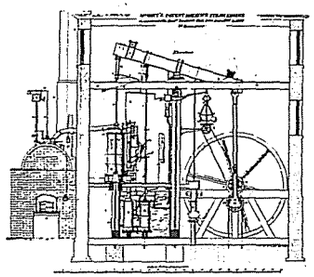
ÇİZELGE – 10.2 (Devam)

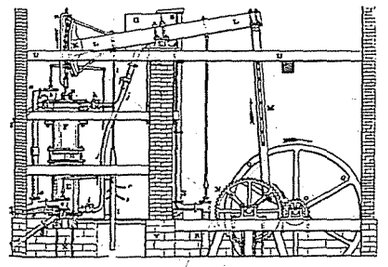
3. Watt'ın çift etkili, terazi kollu ve döner hareketli makinesi

Döner hareket veren bu makine çeşitli makinelerin çalıştırılmasında kullanılabilen ilk makinedir. Pistonun her iki yöne olan hareketi de buhar basıncı ile sağlanır. Piston kolu terazi koluna bir paralelkenar ile bağlanmış ve güneş – gezegen sistemi dişliler ile dönme hareketi sağlanmıştır.



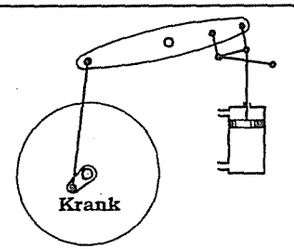
Güneş ve gezegen dişlisi

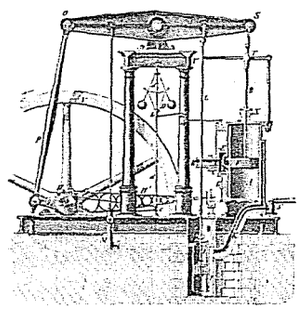

Ahşap çerçeveli, güneş gezegen dişlili ve hız düzenleyicili erken dönem Boulton ve Watt makinesi. [Hills, s. 71].

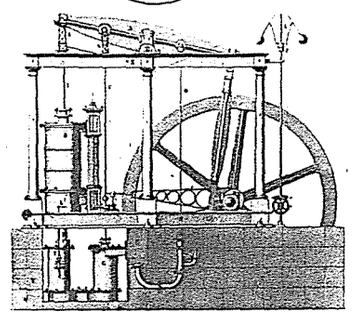

Francis Thomson tarafından 1792'de yapılmış olan makine. [Briggs, s. 57].

4. Tek silindirli, çift etkili, terazi kollu ve döner hareketli makine

1800'lerden itibaren döner hareketi sağlamak için krank sistemi yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu tür makineler 1880'lere kadar çok sayıda üretilmiş ve her tür fabrikada güç kaynağı olarak kullanılmıştır.



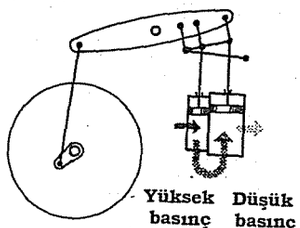

[Grunmach ve Rosenboom, s. 722]

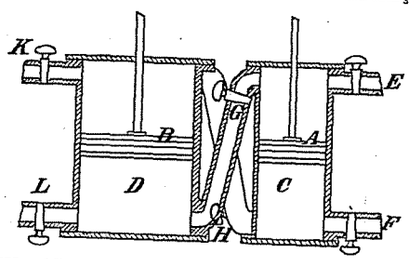

[Briggs, s. 163]

ÇİZELGE – 10.2 (Devam)

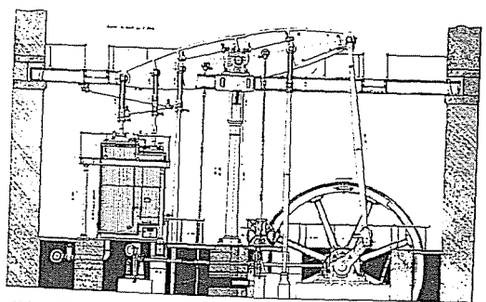
5. Woolf'un terazi kollu ve bileşik (compound) makinesi

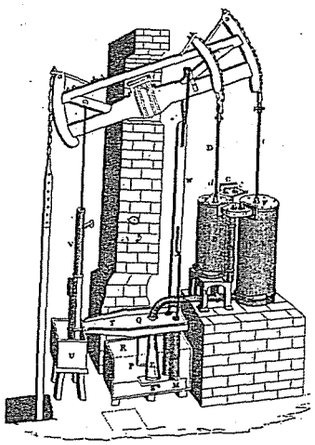
Her ikisi de kolun aynı ucunda bulunan yüksek ve düşük basınç silindirlerinde buharın ardı ardına genleştirilmesiyle verim arttırılmıştır. Bu tür makineler su pompalarında yaygın olarak kullanılmış olmakla birlikte küçük fabrikalarda daha az oranda kullanılmıştır.





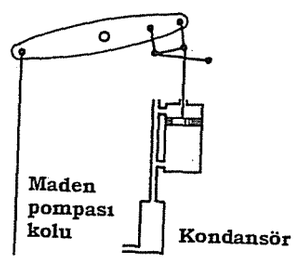
Woolf'a göre yüksek ve düşük basınç silindirlerinin düzenlenişi. [Grunmach ve Rosenboom, s. 682].


Woolf'un ilkesine göre çalışan terazi kollu bileşik makine. [Hills, s. 154 – 155].


Hornblower tipi bileşik makine. [Kirby, s. 176].

6. Terazi kollu Cornish makinesi

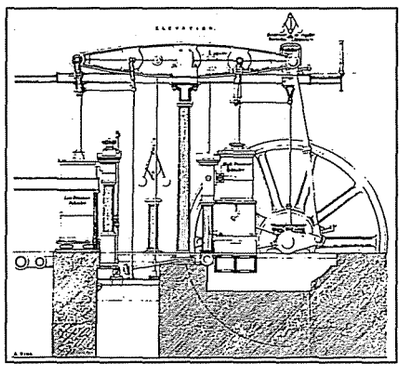
Richard Trevithick tarafından geliştirilmiş yüksek verimli, tek etkili ve döner hareket vermeyen pompa makinesidir. Yüksek basınçlı buharla çalışan kondansörlü bir makinedir. Özellikle Cornwall'daki kalay madenlerinde yaygın olarak kullanılmasından dolayı "Cornish makinesi" adını almıştır.



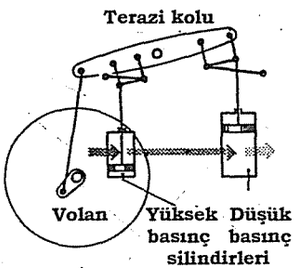
ÇİZELGE – 10.2 (Devam)

7. McNaught'un terazi kollu bileşik makinesi

McNaught tarafından 1845'de patenti alınan bu makinede Woolf'dan farklı olarak yüksek basınç silindiri kolun volan tarafına alınarak makinedeki gerginlik ortadan kaldırılmıştır. Daha sonraki büyük makineler bu ilkeye göre yepılmıştır.

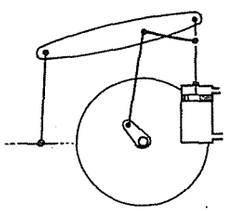


McNaught tarafından 1845'de patenti alınan makine. [Hills, s. 158].



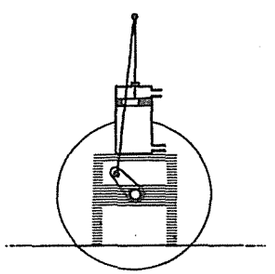
8. Grasshopper makinesi

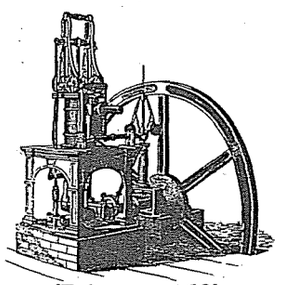
Grasshopper tek bir levha üzerine yerleştirilebilen genellikle küçük ve kompakt bir makine oluğundan kurulması kolaydır. Terazi kolu merkez yerine bir ucundan sabitlenmiştir. Biyel ise kolun piston kolunun bağlandığı uca yakın bir noktaya bağlıdır.



9. Maudsley'in masa (table) tipi makinesi

Bu makinenin üstünlüğü kompaktlığı ve kolay kurulur olmasıdır. Düşey konumdaki piston kolu silindirden daha aşağı düzeyde bulunan krank şaftına doğrudan bağlıdır. Bu tür makineler küçük fabrikalarda yaygın olarak kullanılmıştır.



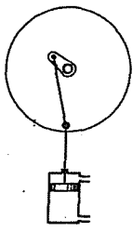


[Briggs, s. 162]

ÇİZELGE – 10.2 (Devam)

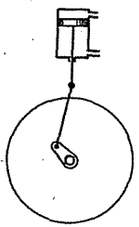
10. Tek silindirli deşey makine

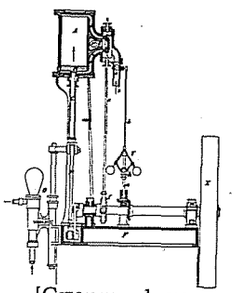
Bu tür makineler Maudsley'in makinesine benzemekle birlikte krank şaftı düşey konumda olarak silindirin üstüne yerleştirilmiştir. Bu makineler fabrikalarda, değirmenlerde ve özellikle Kuzeydoğu İngiltere'deki kömür madenlerinin havalandırma sistemlerinde kullanılmıştır.



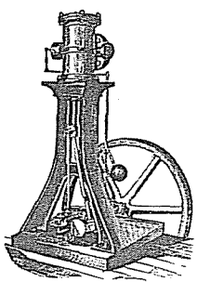
11. Tek silindirli ters konumda (inverted) düşey makine

Bu tür makineler 1840'lardan sonra kullanılmaya başlanmış ve genellikle küçük olarak yapılmışlardır. Bunlar gerektiğinde ters yönde hareket istenilen (geri vites) küçük fabrikalarda ve özellikle denizcilikte yaygın olarak kullanılmıştır.

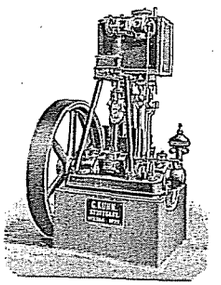




[Grunmach ve Rosenboom, s. 723]



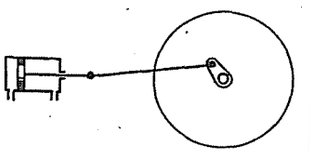
[Briggs, s. 163]

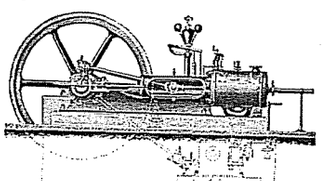


[Grunmach ve Rosenboom, s. 729]

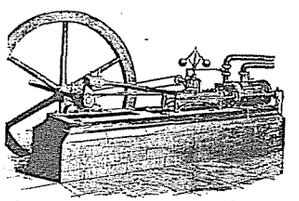
12. Tek silindirli yatay makine

Buhar makinesinin basit tipinin en yaygın olarak kullanılanı olup özellikle XIX. yüzyılın ikinci yarısında çok sayıda üretilmiştir. Çoğu sürgülü valflı olup makine dökme demirden bir altlık üzerine yerleştirilmiştir.





[Grunmach ve Rosenboom, s. 730]

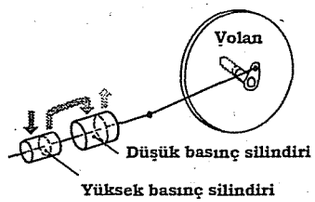


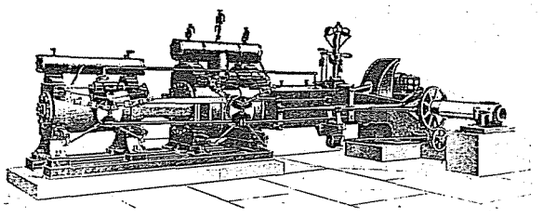
[Briggs, s. 163]

ÇİZELGE – 10.2 (Devam)

13. Yatay ardışık silindirli bileşik makine

Bu makine tek silindirli yatay makinenin gelişiminin mantıksal sonucudur. Yüksek ve düşük basınç silindirleri aynı piston kolu üzerine yerleşirilmiştir. Bu tür makineler genellikle tekstil fabrikalarında kullanılmıştır.

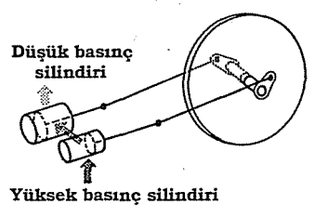




Yatay tandem – bileşik makine. [Hills, s. 190].

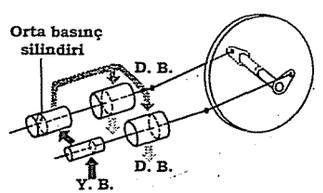
14. Yatay çapraz (cross) - bileşik makine

Bu tür makinelerde yüksek ve düşük basınç silindirleri yan yana yerleştirilmişlerdir ve bunların piston kolları krank şaftının her iki yanına bağlanmıştır. Bu makineler fabrikalarda yaygın olarak kullanılmıştır.



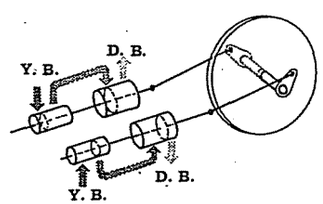
15. Yatay üçlü genleşmeli (triple expansion) makine

Bileşik makine ilkesinin üç basamaklı genleşmeyi kapsayacak biçimde geliştirilmesi sonucunda ortaya çıkmıştır. Buhar yüksek basınç silindirinden (Y.B.) öteki piston kolu üzerinde bulunan orta basınç silindirine ve burada da her iki piston kolu üzerinde bulunan eşit çapaki düşük basınç silindirlerine (D.B.) geçer.



16. Yatay ikiz ardışık silindirli bileşik makine

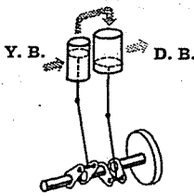
Bu tür makine tek bir krank şaftına bağlı basit iki tandem – bileşik makineden oluşur. Öteki bileşik ve çoklu genleşmeli makineler gibi tekstil fabrikalarında yaygın olarak kullanılmıştır.



ÇİZELGE – 10.2 (Devam)

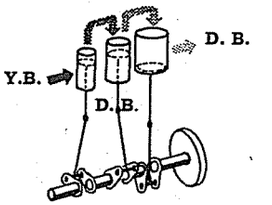
17. Düşey bileşik makine

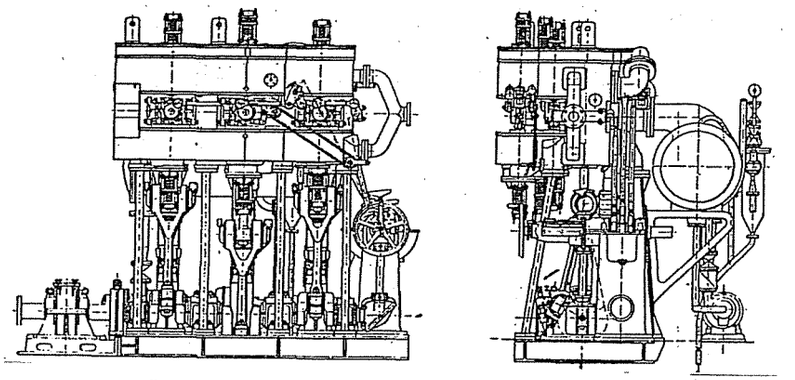
Düşey bileşik makinenin en basit biçimidir ve çoğunlukla gemilerde kullanılmıştır. Bu makinenin XIX. yüzyılın sonlarında geliştirilen yüksek hızlı bir türü elektrik üretiminde yaygın olarak kullanılmıştır.



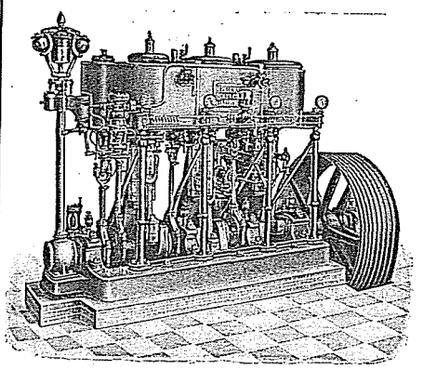
18. Düşey üçlü genleşmeli makine

Bu tür makineler buhar türbinlerinden önce genel olarak büyük gemilerde kullanılmıştır. Karada ise su ve atık su pompalanmasında terazi kollu makinelerin yerini almışlardır.

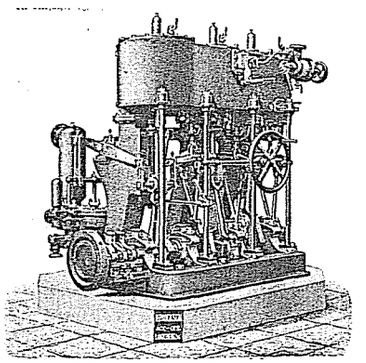




Üçlü genleşmeli gemi makinesi. [Balsöz, s. 197].



[Grunmach ve Rosenboom, s. 731]

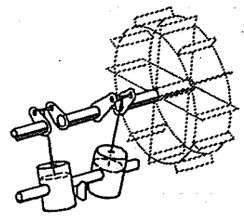


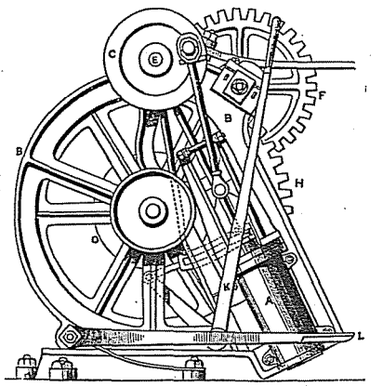
[Grunmach ve Rosenboom, s. 732]

ÇİZELGE – 10.2 (Devam)

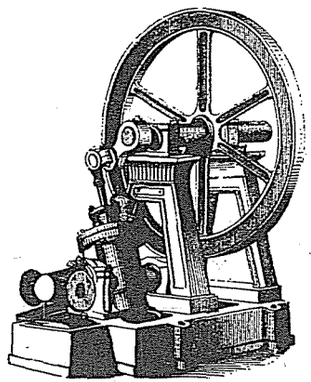
19. Çift silindirli salınımlı makine

Bu tür makinelerde aynı eksen üzerinde salınım yapan iki silindir vardır ve piston kolları doğrudan kranka bağlanmıştır. Bu makineler özellikle yandan çarklı gemilerde kullanılmıştır.





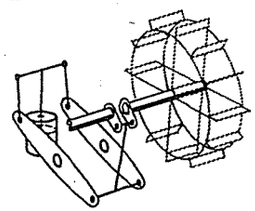
[Briggs, s. 162]

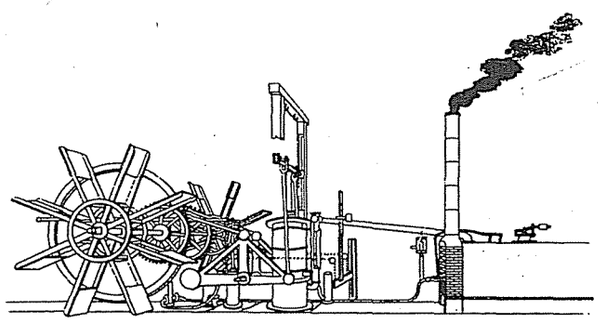


[Briggs, s. 162]

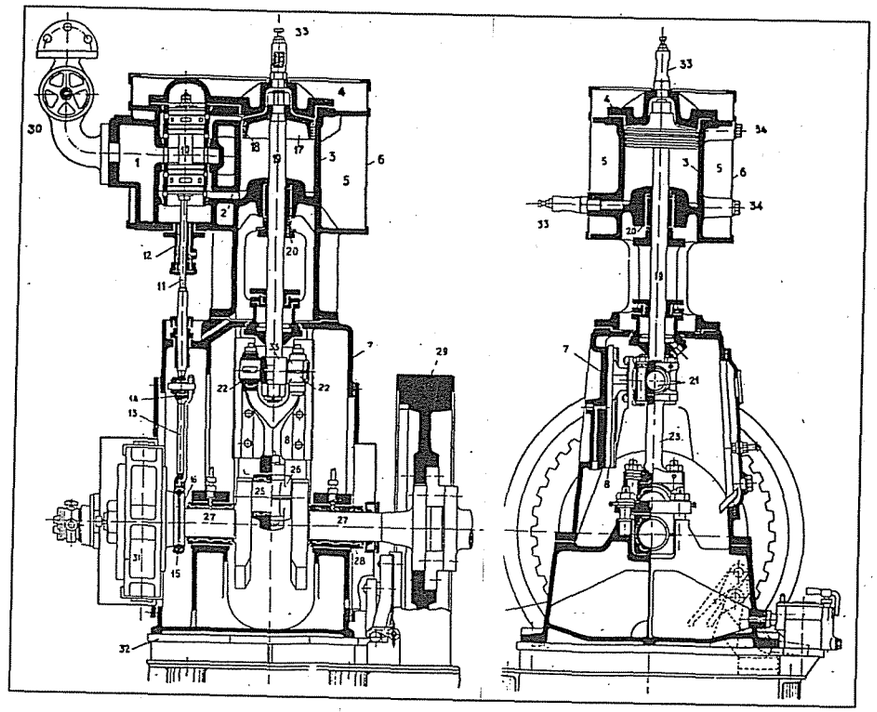
20. Yan kaldıraç kollu makine

Bu tür makineler ağırlık merkezlerinin düşük düzeyde olması nedeniyle 1850'den önce yandan çarklı gemilerde yaygın olarak kullanılmıştır. Bu makine temel olarak kolunun bir ucu düşük düzeyde eklemlendirilmiş terazi kollu makinedir.





Yandan çarklı ilk buharlı gemi olan Clermont'un makinesi.
[Derry ve Williams, s. 328]



Şekil – 10.41: XX. yüzyılda buhar makinesi: 1) Çekmece sandığı, 2) Buhar kanalları, 3) Silindir, 4) Silindir kapağı, 5) Silindir izolesi, 6) Silindir izolesi örtüsü, 7) Ara çerçeve, 8) Kayıt, 9) Temel çerçevesi, 10) Çekmece, 11) Çekmece kolu, 12) Çekmece kol boğazı, 13) Eksantrik kolu, 14) Eksantrik kolu muylusu, 15) Eksantrik çemberi, 16) Eksantrik, 17) Piston, 18) Piston çemberleri, 19) Piston kolu, 20) Piston kolu boğazı, 21) Kroshed muylusu, 22) Kroshed yatağı, 23) Konekting rod veya biyel, 24) Krank, 25) Krank muylusu, 26) Krank muylusu yatağı, 27) Krank mili, 28) Krank mili yatağı, 29) Volan, 30) Ayar valfi, 31) Regülatör, 32) Temel plakası, 33) Emniyet supabı, 34) Endikatör bağlantısı, 35) Kroshed.
[Balsöz, s. 17 – 18].

BUHAR MAKİNESİNİN VERİMİ

Buhar makinesinin yaygınlaşmasından itibaren verimini arttırma konusundaki çalışmalar da başlamıştır. Makinenin verimi düşüktü, çok kömür harcıyordu ve bunun sonucunda verdiği enerji pahalıya mal oluyordu. Bu konuda bir yandan buhar kazanları geliştirilerek yanma ısısından maksimum yararlanma sağlanmaya çalışılırken öte yandan da makinenin üzerinde de geliştirmeler yapılmıştır. Örneğin çoklu genleşmeli

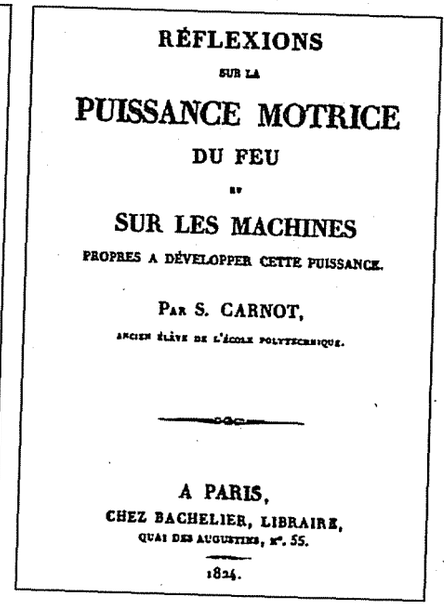
buhar makineleri bunun bir örneğidir. Ancak 1820'lere gelinceye kadar buhar makinesindeki ısı alış verişi konusunda bilimsel bir çalışma ortaya konulamadığından dolayı iyileştirme çalışmaları genellikle sınama yanılma yoluyla yapılmaya çalışılmıştır.

Buhar makinesi ısı alışverişi açısından bir "ısı makinesi" olarak ilk kez 1821'de Fransız askeri mühendis Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796 – 1831)[4] (Şekil – 10.42) tarafından incelendi. Carnot bu incelemelerinin sonucunda termodinamiğin temellerini ortaya koydu ve buluşlarını 1824'de küçük bir kitap halinde yayınladı. (Şekil – 10.43). Carnot burada bir buhar makinesindeki enerji çevrimini ortaya koydu ve bu çevrim daha sonra onun adıyla *Carnot çevrimi* olarak adlandırıldı. (Şekil – 10.44). Carnot'nun kitabı yayınlandığı dönemde ilgi çekmedi ve ancak on yıl sonra termodinamiğin kurucularından biri olan Fransız mühendis ve fizikçi Binoit Paul Émile Clapeyron (1799 – 1864) tarafından yeniden keşfedildi.

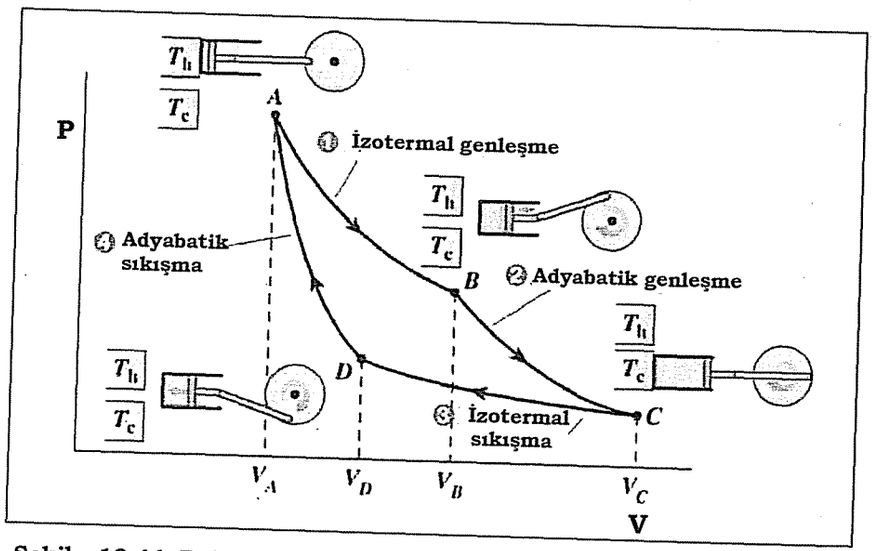
Isı enerjisi sıcaklığı yüksek olan bir yerden sıcaklığı düşük olan bir yere doğru kendiliğinden akar. Bir ısı makinesinde bu akış sırasında dışarıya karşı bir iş ***(W)*** yapılır. Buna göre ısı, sıcaklığı yüksek ***(T_1)*** ve ısı içeriği ***(Q_1)*** olan bir yerden sıcaklığı düşük ***(T_2)*** ve ısı içeriği ***(Q_2)*** olan bir yere aktığında dışarıya karşı ***$W = Q_1 - Q_2$*** kadar iş yapılmış olur. (Şekil – 10.45).

4 *Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796 – 1831):* 1812'e École Poly-technique'e girdi ve 1816'da buradan ayrılarak Metz'deki École de Génie'ye üsteğmen rütbesi ile öğrenci oldu. Burada askeri mühendis olarak görev yaptıktan sonra 1819'da Paris'e atandı ve daha sonra ordudan ayrıldı. Paris'de College de France ve École de Mines gibi okullara devam ettikten sonra 1821'de buhar makinelerinin verimi üzerine çalışmaya başladı. Bu çalışmaları sonucunda termodinamiğin temellerini kurarak kendi adıyla anılan "Carnot çevrimi"ni ortaya koydu. Çalışmalarını 1824'de "Isının hareket ettirici gücü ve bu gücü geliş-tirmeye yarayan makineler üzerine düşünceler" başlığı altında 128 sayfalık bir kitap halinde yayınladı. Bu kitap fazla bir yankı yapmadan unutuldu ise de 1834'de yeniden keşfedildi. [Day ve McNeil, s. 128 – 129].

Şeil – 10.42: Nicolas Léonard Sadi Carnot. (1796 – 1831).

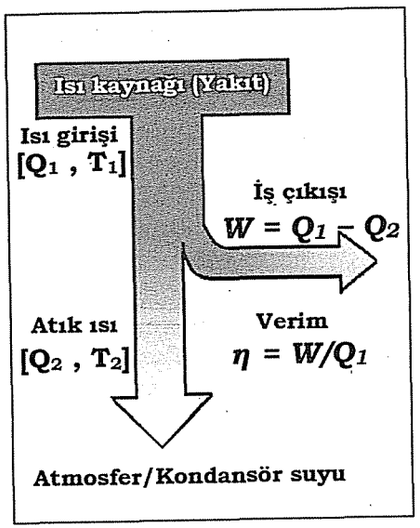

RÉFLEXIONS
SUR LA
PUISSANCE MOTRICE
DU FEU
ET
SUR LES MACHINES
PROPRES A DÉVELOPPER CETTE PUISSANCE.
PAR S. CARNOT,
ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE.
A PARIS,
CHEZ BACHELIER, LIBRAIRE,
QUAI DES AUGUSTINS, N°. 55.
1824.

Şekil – 10.43: Sadi Carnot'nun 1824'de yayınladığı kitabının kapak sayfası.



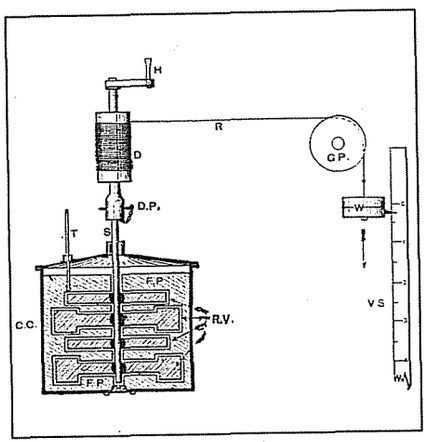
Şekil – 10.44: Buhar makinesi için Carnot çevrimi. (1) ısı girişi, (2) iş çıkışı, (3) ısı çıkışı ve (4) iş girişi,

Makinenin verimi elde edilen işin verilen ısıya oranına eşit olup $\eta = W/Q_1$ bağıntısı ile gösterilir. Böyle bir hesaplamanın yapılabilmesi için ısının mekanik eşdeğerinin bilinmesi gerekir. İngiliz fizikçi James Prescott Joule (1818 – 1889) (Şekil – 10.46) yaptığı deneyler sonucunda ısı, mekanik ve elektrik enerjilerinin birbirine dönüştüğünü ortaya koymuş ve ısının mekanik eşdeğerini saptamıştır. (Şekil – 10.47).



Şekil – 10.45: Buhar makinesindeki ısı ve iş ilişkisi ile iş verimi.

Şekil – 10.46: İngiliz fizikçi James Prescott Joule. (1818 – 1889).



Şekil – 10.47: Isının mekanik eşdeğerini saptayan "Joule deneyi". [Hills, s. 169]. İçinde su bulunan bir kalorimetrenin içindeki pervane aşağıya düşen ağırlık tarafından döndürülür. Deney bir çok kez tekrarlandıktan sonra ağırlığın düşmesi ile yapılan iş hesaplanıp kaptaki sıcaklık artışı ölçülerek mekanik işin dönüştüğü ısı miktarı bulunur. Bir iş birimi olan Joule (J) 1 Newton'luk bir kuvvetin bir cismi 1 m hareket ettirmesi ile yaptığı iş olup 1 J = 0,2388 cal veya 1cal = 4,1868 J dür.

BUHAR MAKİNELERİNİN TÜRKİYE'YE GİRİŞİ

Buhar makinelerinin Türkiye'ye girişi

Türkiye'ye ilk buhar makinesinin giriş tarihini kesin olarak saptamamıza yardımcı olacak bilgi ve belgeler bulunmamakla birlikte, çeşitli kaynaklar XIX. yüzyılın ikinci çeyreğinde buhar makinelerinin yavaş yavaş Türkiye'ye girdiğini göstermektedir. Lûtfî Tarihi'ne göre H.1243 [1827/1828] yılında buharla çalışan ve *Buğ Gemisi* adı verilen bir gemi getirtilmiş ve bu tür gemileri yönetecek kaptan ve çarkçıların yetiştirilmesine başlanmıştır. Bu dönemde, buharlı gemilere *vapur* ve buhar gücüyle çalışan kuruluşlara veya bunların buhar dairelerine *vapurhane* adı verilmiştir.

1830'lu yıllara gelindiğinde buhar makineleri çeşitli askeri kuruluşlarda kullanılmaya başlanmıştır. Buhar makineleri genellikle İngiltere'den makineleri kullanacak veya öğretecek teknik elemanlarla birlikte getirtilmiştir. 1836 tarihli bir belgeden askeri vapurhanelerin masrafları için ayda 120.000 kuruş verildiğini ve 1837 tarihli bir başka belgeden de İngiliz mühendisler tarafından "top vapuru (top kârhanesi) ve tüfenk vapuru (tüfenk kârhanesi)" yapıldığını öğreniyoruz.

1850'li yıllarda buhar makineleri sivil alanlarda da kullanılmaya başlanmış ve bu alanların başında değirmencilik gelmiştir. Bu dönemde İstanbul'daki değirmenlerin buhar makineleriyle işletilmesine başlanmıştır. Buhar makinelerinin sayısının artması üzerine bunların bir düzene konulmasına gerek görülmüş ve 1863'de "Sabit Vapur Makinelerine Dair Nizamname" adıyla bir yönetmelik hazırlanarak yayınlanmıştır. 1863'de İstanbul'da Sultanahmet'de açılan sergide buharla işleyen makinelerin sergilenlesine önem verilmiş ve bu amaçla serginin yanına bir kazan dairesi yapılmıştır.

Ahmed Besim Paşa (1849 – 1928)

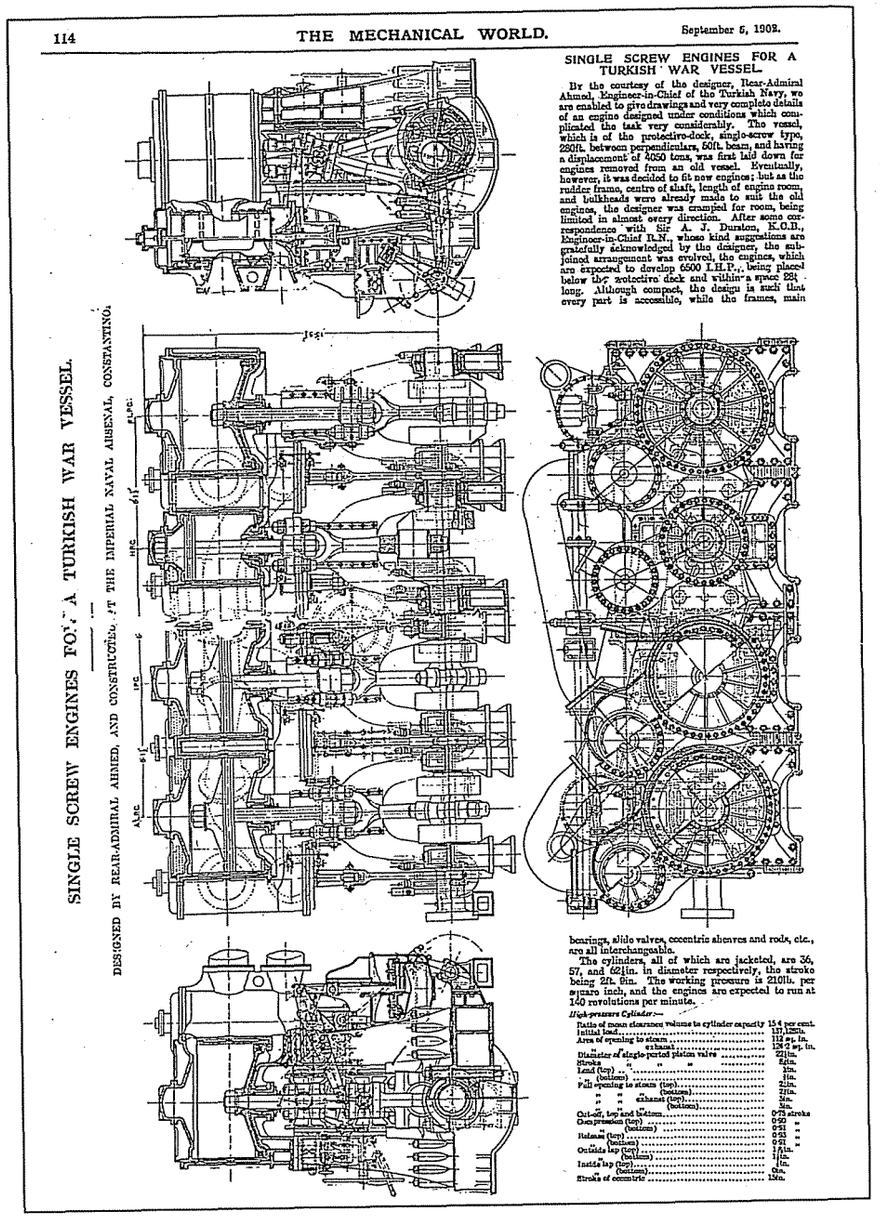
XIX. yüzyılın ikinci yarısında İstanbul'daki tersanede buharlı gemiler ve bu gemiler için buhar makineleri yapılmaya başlanmıştır. Yapım işleri önceleri İngiliz mühendislerce

yönetilirken yüzyılın son çeyreğinden başlayarak bunların yanında yetişen Türkler tarafından yürütülmeye başlanmıştır. Bunlar arasında en önemli kişi Bahriye Feriki (Koramiral) Ahmed Besim Paşa'dır (1849 – 1928)[5]. (Şekil – 10.48). Ahmed Paşa, 1864'de girdiği Bahriye Mektebi'ni 1869 yılında bitirmiş ve aynı yıl İngiliz Başmühendis Shanks'ın yardımcısı olarak atanmış, 1873'de Başmühendis olmuş ve emekli olduğu 1909 yılına kadar bu görevini sürdürmüştür. 1887'de İngiltere'deki "Makine Mühendisleri Kurumu"na üye olan Ahmed Paşa, yurt dışındaki bir dostuna yazdığı 30 Eylül 1909 tarihli mektubunda aşağıdaki bilgileri vermektedir:

> "Mesleğimde elimden gelenin en iyisini yaptım, bu mesleğin burada kurucusu gibiyim. 1869'da Glasgow'daki. Napier and Sons Şirketi'nin Türkiye mümessili Bay Alexander Shanks'ın yanına girdim ve mühendishane tesisleri (engineering works) kurmakta, devlete ait tersane ve doklarda makine plânları çizip imâl etmekte onun yardımcısı olarak çalıştım. 1876'da Bay Shanks'ın ayrılması üzerine Başmühendis olarak tayin edildim ve geçen yıla kadar bu işe baktım. Burada bir makine plânı çizen – eğer kendime böyle diyebilirsem – ilk yerli ben oldum. Benim çizdiğim plânlardan 120 tane makine yapıldı, plânlarımdan bir çoğu İngiliz teknik dergilerinde yayınlandı. Övünmek istemiyorum, fakat doğrusunu söylemek gerekirse, burada benim mesleğimde bana eşit olacak kimse yok." (Şekil – 10.49),

5 *Ahmed Besim Paşa (1849 – 1928):* Denizci bir aileden gelen, aslen bir ilişkisi olmamakla birlikte çok iyi İngilizce bilmesi nedeniyle "İngiliz" lakabı ile anılan Ahmed Besim Paşa babası Miralay Şükrü Bey'in gemisinin bulunduğu Girit'in Kandiye limanında 8 Eylül 1849'da doğdu. Aralık 1865'de Mekeb-i Bahriye'ye girdi ve birincilikle mezun olarak 29 Kasım 1869'da mülazım-ı evvel (üsteğmen) olarak atandı. 10 Ekim 1871'de yüzbaşı, 11 Ağustos 1879'da binbaşı, 11 Temmuz 1885'de kaimmakam (yarbay), 21 Eylül 1888'de miralay (albay) ve 19 Ağustos 1897'de tümamiral oldu. Mezun olduğu yıl Tersane-i Âmire'de başmühendis ve İngiliz Napier & Sons Şirketi'nin temsilcisi Alexander Shanks'ın yanına yardımcı olarak atandı ve onun ayrılması üzerine 1876'da onun yerine başmühendis oldu ve emekli oluncaya kadar bu görevini sürdürdü. 1887'de İngiltere'deki "The Institution of Mechanical Engineers" [Makine Mühendisleri Kurumu]'na üye olmuş ve 1914 yılına kadar yıllık toplantılarına düzenli olarak katılmıştır. Birinci Dünya Savaşı öncesinde savaş karşıtı bazı örgütlerle ilişki kurmuş ve özellikle emekliliğinden sonra uğraştığı en önemli işlerden biri kesintisiz demiryolu bağlantısı sağlayacak olan Haydarpaşa – Sarayburnu arasında bir deniz altı tüneli yapılmasıdır. Bu hayalini gerçekleştiremeden 31 Ağustos 1928'de ölmüştür.

Şekil – 10.48: Ahmed Besim Paşa (1849 – 1928),



114 THE MECHANICAL WORLD. September 5, 1902.

SINGLE SCREW ENGINES FOR A TURKISH WAR VESSEL.

By the courtesy of the designer, Rear-Admiral Ahmed, Engineer-in-Chief of the Turkish Navy, we are enabled to give drawings and very complete details of an engine designed under conditions which complicated the task very considerably. The vessel, which is of the protective-deck, single-screw type, 220ft. between perpendiculars, 50ft. beam, and having a displacement of 4050 tons, was first laid down for engines removed from an old vessel. Eventually, however, it was decided to fit new engines; but as the rudder frame, centre of shaft, length of engine room, and bulkheads were already made to suit the old engines, the designer was cramped for room, being limited in almost every direction. After some correspondence with Sir A. J. Durston, K.C.B., Engineer-in-Chief R.N., whose kind suggestions are gratefully acknowledged by the designer, the sub-joined arrangement was evolved, the engines, which are expected to develop 6500 I.H.P., being placed below the protective deck and within a space 28ft. long. Although compact, the design is such that every part is accessible, while the frames, main

SINGLE SCREW ENGINES FOR A TURKISH WAR VESSEL.

DESIGNED BY REAR-ADMIRAL AHMED, AND CONSTRUCTED AT THE IMPERIAL NAVAL ARSENAL, CONSTANTINO-

bearings, slide valves, eccentric sheaves and rods, etc., are all interchangeable.

The cylinders, all of which are jacketed, are 36, 57, and 62½in. in diameter respectively, the stroke being 2ft. 9in. The working pressure is 210lb. per square inch, and the engines are expected to run at 140 revolutions per minute.

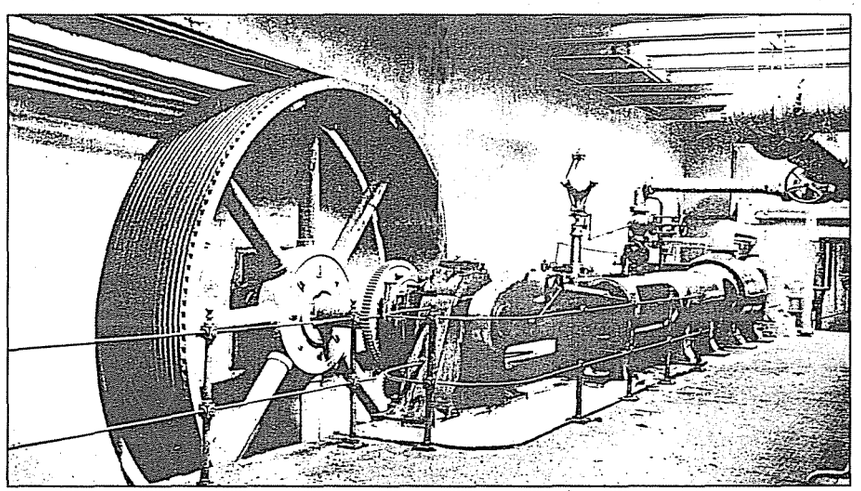
High-pressure Cylinder:—

Ratio of mean clearance volume to cylinder capacity	15·4 per cent.
Initial load	127·12lb.
Area of opening to steam	112 sq. in.
" " exhaust	136·4 sq. in.
Diameter of single-ported piston valve	21in.
Stroke " "	22in.
Lead (top)	3in.
" (bottom)	1in.
Full opening to steam (top)	2in.
" " (bottom)	2¼in.
" " exhaust (top)	3in.
" " (bottom)	3in.
Cut-off, top and bottom	0·75 stroke
Compression (top)	0·80 "
" (bottom)	0·81 "
Release (top)	0·93 "
" (bottom)	0·91 "
Outside lap (top)	1¼in.
" (bottom)	1¼in.
Inside lap (top)	1in.
" (bottom)	1in.
Stroke of eccentric	13in.

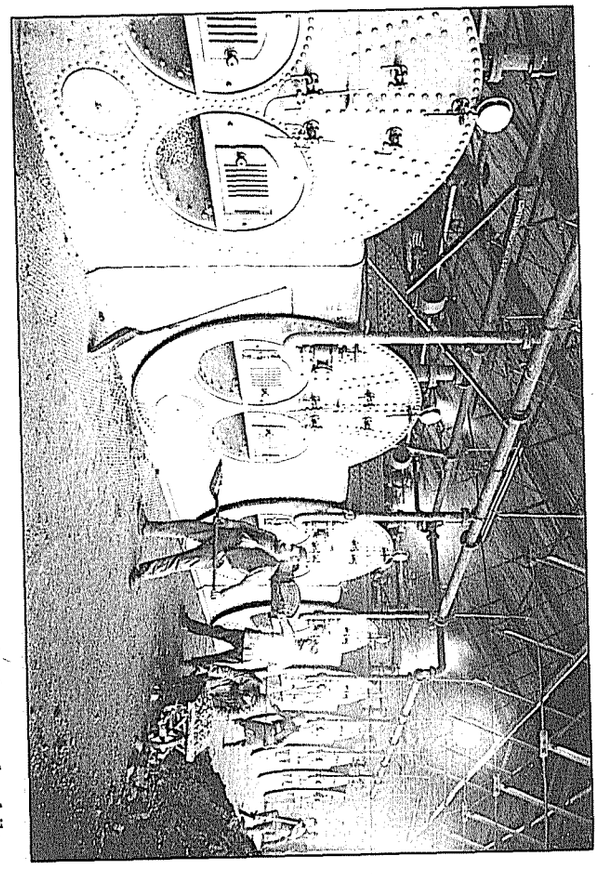
Şekil – 10.49: Ahmed Besim Paşa tarafından 1902'de 4050 tonluk tek pervaneli bir Osmanlı savaş gemisi için yapılan 6500 HP gücündeki bileşik buhar makinesinin planı. [Ahmed, "Single screw engines for a Turkish war wessel", *The Mechanical World*, 32 (818), 114 – 115 (1902)].

Türkiye'de sanayide buhar makinesi kullanımı

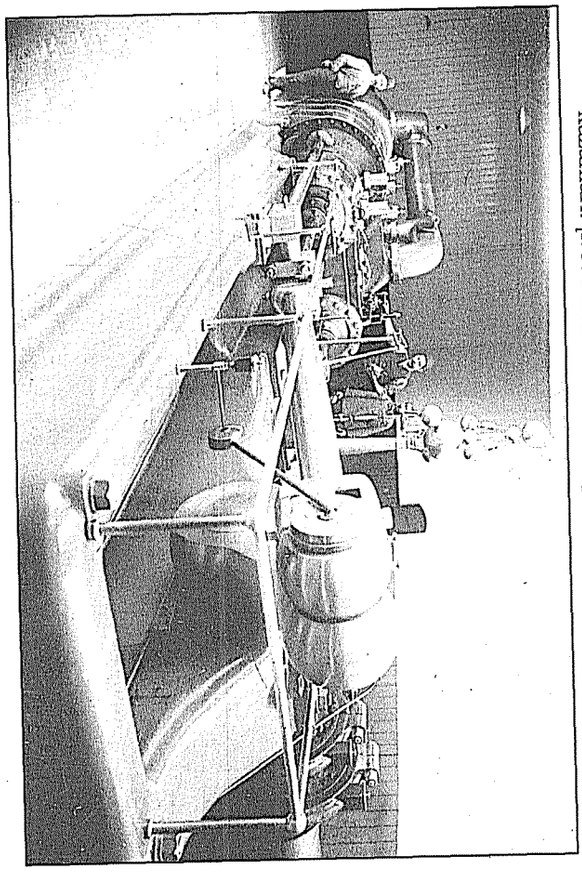
Osmanlı döneminde XIX. yüzyılda tersane ve askeri silâh ve dokuma fabrikalarda kurulan buhar makineleri konusunda bazı bilgiler ve resimler vardır. (Şekil – 10.50). Buna karşılık özel sektörde kurulan buhar makineleri konusunda bir bilgi yoktur. İlk sanayi sayımı 1913'de yapılmış ve 1915'de de tekrarlanmıştır. Bu sanayi sayımı İstanbul, İzmir, Bursa şehirleri ile İzmit, Bandırma, Manisa ve Uşak kasabalarında bulunan özel sektör kuruluşlarını kapsamaktadır. Sanayi alanlarına göre güç kaynaklarının tür, sayı ve güçleri (Çizelge – 10.3)'de özetle verilmiştir. Toplam güç kaynakları içinde buhar makinelerinin gücünün oranının % 76 olduğu görülmektedir. Toprak sanayii alanında Ekim 1911'de faaliyete geçen Darıca'daki Aslan ve 12 Mayıs 1912'de faaliyete geçen Eskihisar çimento fabrikalarının toplam buhar gücü 3.182 HP olup sanayideki toplam buhar gücünün % 19,95'ini oluşturmaktadır. Bunun yanında yoğun olarak güç kaynağı kullanan kesimler sırasıyla dokuma, gıda ve toprak sanayii alanları olup bunların toplan güçleri olan 17.977 HP sayım kapsamındaki sanayi kuruluşlarının toplam gücünün % 85,7'sini oluşturmaktadır.



Şekil – 10.50: Devlete ait bir fabrika olan Feshane'nin [Fes ve Melbusât-ı Askeriye Fabrikası] buhar makinesi. [Küçükerman, s. 228 – 229].



Şekil – 10.51: 22 Ocak 1893'de işletmeye açılan ve ancak altı ay çalışabilen "Beykoz Hamidiye Kâğıt Fabrikası" nın İngiliz yapımı Lancashire tipi buhar kazanları. [İ.Ü. Nadir Eserler Kütüphanesi No: 91540/33].



Şekil – 10.52: "Beykoz Hamidiye Kâğıt Fabrikası" nın İngiliz yapımı ana buhar makinesi. [İ.Ü. Nadir Eserler Kütüphanesi No: 91540/32].

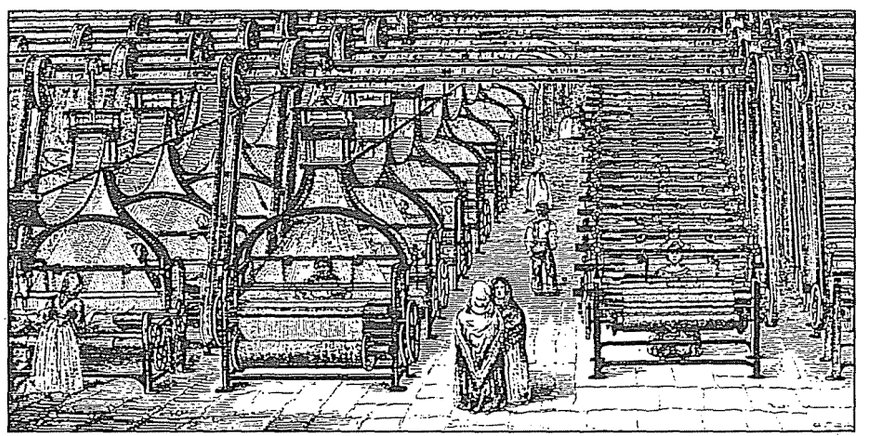
ÇİZELGE – 10.3
1913 ve 1915 sanayi sayımlarına göre hareket ettirici (muharrik) güç kullanan işyerlerindeki güç kaynaklarının türleri, sayıları ve toplam güçlerinin sanayi alanlarına göre dağılımı
[Ökçün, Tablo IV'den özetlenerek]

Sanayi alanı ve hareket ettirici güç kullanan işyeri sayısı		**Buhar makinesi**		**Su türbini ve çarkı**		**İçten yanmalı motor**		**Elektrik motoru**		**Toplam**	
		Sayısı	**HP**	**Sayısı**	**HP**	**Sayısı**	**HP**	**Sayısı**	**HP**	**Sayısı**	**HP**
Gıda	71	**43**	**6.227**	4	210	39	953	24	503	**110**	**7.893**
Toprak	16	**18**	**3.757**	1	45	3	35	–	–	**22**	**3.837**
Deri	13	**19**	**612**	–	–	8	349	–	–	**27**	**961**
Ağaç	12	**7**	**267**	–	–	16	238	2	8	**25**	**513**
Dokuma	71	**56**	**4.356**	6	758	20	478	20	655	**102**	**6.247**
Kırtasiye	46	–	–	–	–	41	529	34	176	**75**	**705**
Kimya	10	**9**	**727**	–	–	4	94	–	–	**13**	**821**
Toplam	**249**	**152**	**15.946**	**11**	**1.013**	**131**	**2.676**	**80**	**1.342**	**374**	**20.977**
Makine başına ortalama beygir gücü (HP)		**104,9**		**92,1**		**20,4**		**16,8**		**56,1**	

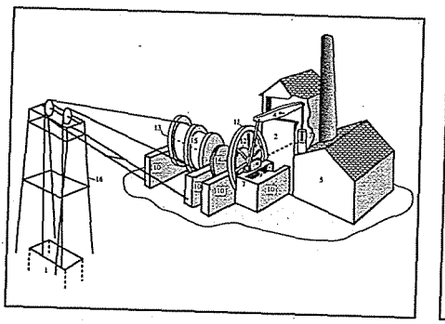
BUHAR MAKİNESİ İLE ÇALIŞAN FABRİKALARDA HAREKETİN AKTARILMASI

Sanayi Devrimi'nin ilerlemesi ile birlikte özellikle tekstil fabrikaları için çok katlı yeni bir fabrika mimarisi doğdu. Katlardaki makineler tavanda boydan boya uzanan döner bir mil üzerinde bulunan kasnaklardan bir kayış yardımıyla aktarılan hareket ile çalıştırılıyordu. (Şekil – 10.53). Fabrikalar ekonomik açıdan güç kaynağı olarak bir tane büyük su çarkı veya buhar makinesi ile çalıştığından buradan elde edilen hareketin katlardaki millere aktarılması için genel olarak iki yol izlenmiştir. Hareket birincisinde dişli sistemleri ile ve ikincisinde de kayış ve kasnaklar ile katlara aktarılmıştır. (Şekil – 10.54, 10.55, 10.56 ve 10.57).

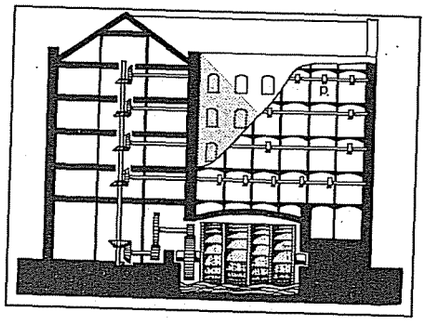
Buhar makinesinin gelişmesinin ardından fabrikalara buhar makineleri kurulmaya başlanmış olmakla birlikte su çarklarının da bunların yanında kullanımı sürmüştür. İngiltere'de dokuma sanayi alanında 1835'de 10.000 HP su gücü ve 35.000 HP buhar gücü kullanılırken 1850'de 11.000 HP su gücü ve 71.000 HP buhar gücü kullanılmaktadır. Dönem içinde su gücünün toplam güç içindeki payı azalmakla birlikte miktarında % 10 dolayında bir artış olmuştur.



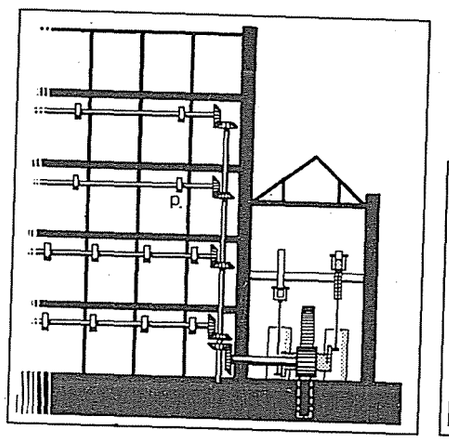
Şekil – 10.53: Halifax'da bir tekstil fabrikasının dokuma dairesi. Dokuma makineleri tavandaki mil üzerinde bulunan kasnaklardan kayışlar yardımıyla hareketi almaktadır. [Cossons, s. 198].



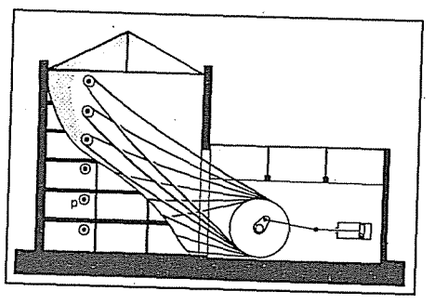
Şekil – 10.54: Madenlerde kullanılan çift etkili döner bir buhar makinesinin düzenlenişi. Kazan dairesi, buhar makinesi, volandan güç alarak kayışlar yardımıyla havalandırmayı ve vinci çalıştıran kasnaklar görülmektedir. [Palmer ve Neaverson, s. 72].



Şekil – 10.55: 1800'lerde su gücüyle çalışan bir tekstil fabrikasında dişliler ve miller yardımıyla hareketin aktarılması. Su çarkı 6 m çapında ve 10 m boyundadır. (p = makineleri çalıştıran kayışların takıldığı kasnaklar). [Cossons, s. 196].



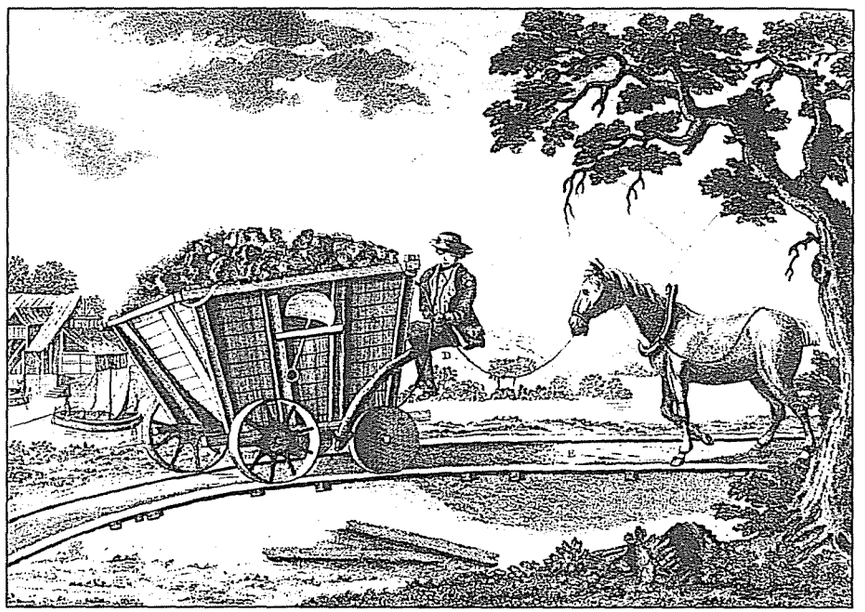
Şekil – 10.56: 1850'lerde buhar gücüyle çalışan bir tekstil fabrikasında dişliler ve miller yardımıyla hareketin aktarılması. Burada iki silindirli bir buhar makinesi dişli bir volanı çevirir. (p = makineleri çalıştıran kayışların takıldığı kasnaklar). [Cossons, s. 196].



Şekil – 10.57: 1870'lerde buhar gücüyle çalışan bir fabrikada hareketin pamuk halatlar, makaralar ve millerle aktarılaması. Buradaki yatay buhar makinesi üzerinde yivler bulunan bir volanı çevirir. (p = makineleri çalıştıran kayışların takıldığı kasnaklar). [Cossons, s. 196].

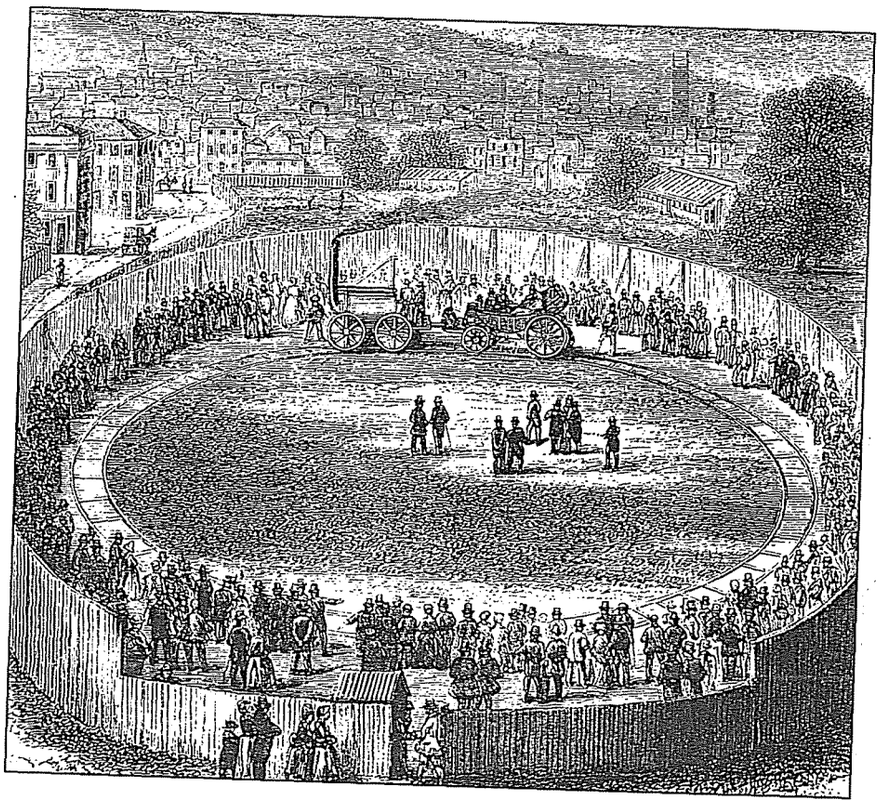
DEMİRYOLU LOKOMOTİFLERİ

Raylı sistemler çok eskiden beri özellikle madenlerde kullanılmaktaydı. Buralarda tahta raylar üzerinde hareket eden arabalar (vagonlar) ya insanlar tarafından itilmekte ya da at veya katırlar tarafından çekilmekteydi. (Şekil – 10.58). Buradaki bütün sorun vagonun önündeki atın yerine buharlı bir çekicinin yani lokomotifin konulmasıdır.



Şekil – 10.58: Atla çekilen kömür vagonu yokuş aşağı kendiliğinden inerken. (Newcastle upon Tyne, 1773). [Yapp, s. 476].

XVIII. yüzyılın sonlarından başlayarak buharlı araba ve ve lokomotif yapımı konusunda çok sayıda başarısız girişim yapılmıştır. Bu konuda ilk başarılı girişim yüksek basınçlı buhar makineleri yapımcısı Richard Trevithick (1771 – 1833) tarafından yapılmıştır. Trevithick 1808'de yaptığı lokomotif ile dünyanın ilk yolcu treni gösterisini gerçekleştirmiştir. (Şekil – 10.59). Bununla birlikte bu trenin ağırlığına dayanabilecek raylar bulunmadığından ve bazı başka teknik sorunlardan dolayı bu girişim deneme ve gösteri aşamasında kalmıştır.



Şekil – 10.59: Richard Trevithick'in 1808'deki "Catch-me-who-can" [Kim beni yakalar] adlı ilk yolcu treni gösterisi. [Yapp, s. 477].

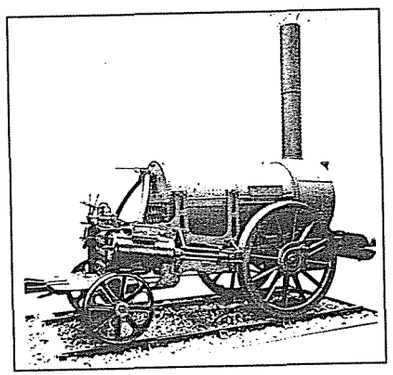
Buharlı lokomotifler yüksek basınçlı buhar ile çalışan kondansörsüz buhar makineleridir. Piston kolları bir krank–biyel sistemi ile doğrudan sürücü tekerleğe bağlanmıştır. İlk başarılı ve kullanılabilir nitelikteki lokomotif Ekim 1829'da George Stephenson (1781 – 1848)[6] ile oğlu Robert Stephenson

6 *George Stephenson (1781 – 1848):* Küçük yaşlarında kömür madenlerinde makine teknisyenliği yapan babasının yanında çalışmaya başladı. Kısa sürede bir Newcomen makinesini yönetecek beceriye ulaştı. Daha sonra okuma ve yazma öğrenerek buhar makinesi konusunda bilgi edinmeye başladı. 1804'de Grand Alies şirketinin Killingworth'deki vinçlerinin yöneticiliğine ve 1812'de şirketin tüm makinelerinin ustabaşılığına getirildi. Şirketin isteği üzerine 1814'de *Blucher* adlı lokomotifi üretti ve 25 Temmuz 1814'de çalışmaya başladı. Bu lokomotif

(1803 – 1859) (Şekil – 10.60 ve 10.61) tarafından 1829'da gerçekleştirmiştir. (Şekil – 10.62, 10.63 ve 10.64).

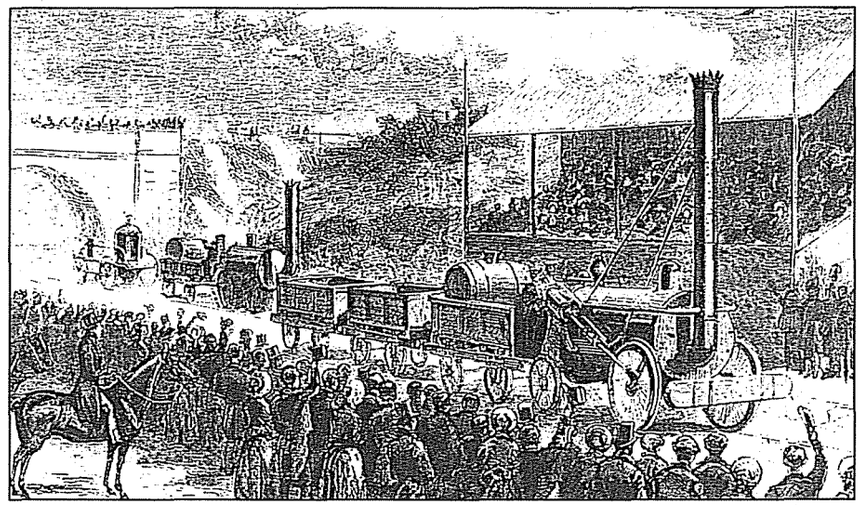
Şekil – 10.60: George Stephenson. (1781 – 1848). [Yapp, s. 612]

Şekil – 10.61: Robert Stephenson. (1803 – 1859). [Matschloss, s. 166].

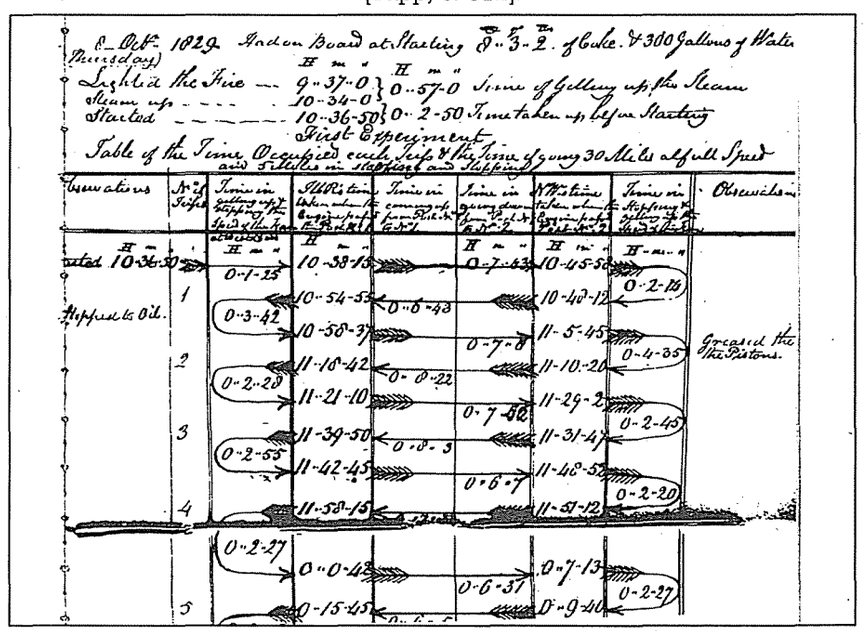


Şekil – 10.62: George Stephenson ve oğlu Robert Stephenson tarafından Ekim 1829'da yapılan ve ilk kullanışlı buharlı lokomotif olan *Rocket*. [Lilley, Levha XI]. Sürücü tekerlek çapı 143,5 cm, silindirler 20,3 x 43,2 cm, alev borulu kazanın boyu 183 cm, çapı 101,6 cm ve içinde 25 tane 7,6 cm çapında alev borusu, ateş kutusunun boyu 61 cm ve eni 91,5 cm, toplam ısıtma alanı 186 dm², kazan basıncı 3,5 kg/cm², toplam ağırlık 4,24 ton.

30 ton kömür yüklü sekiz vagonu 10 km/h hızla çekebiliyordu. 1821'de Stockton – Darlington demiryolunun yapımı ile görevlendirildi ve bu hat 27 Eylül 1825'de açıldı. Bir yandan hattı yaparken öte yenden da lokomotif yapımını sürdürdü. 1824'de üstlendiği 65 km lik Liverpool – Mancester demiryolunun inşasını oğlu Robert Stephenson (1803 – 1859) ile birlikte beş yılda gerçekleştirdi. [Day ve McNeil, s. 670 – 672; Feldman ve Ford, s. 116 – 117].

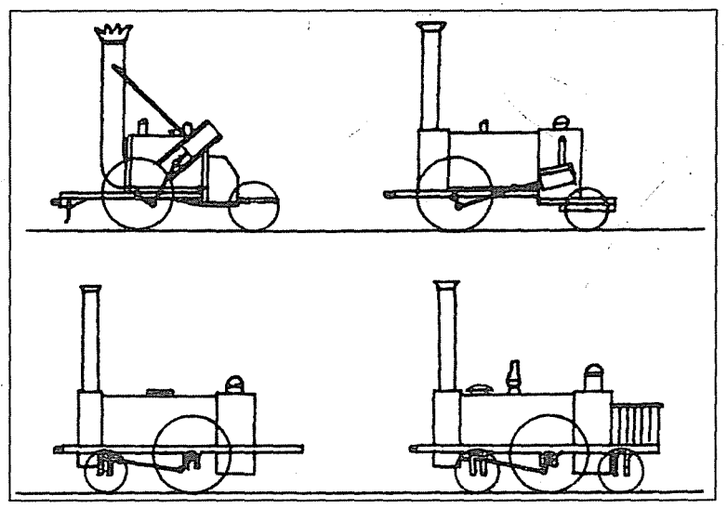


Şekil – 10.63: *Rocket*'in 8 Ekim 1829 günü Rainhill'de yaptığı deneme seferi ve izleyiciler. *Rocket* bu seferinde 30 mil/saat (48 km/saat) hıza ulaşmıştır. [Yapp, s. 612].

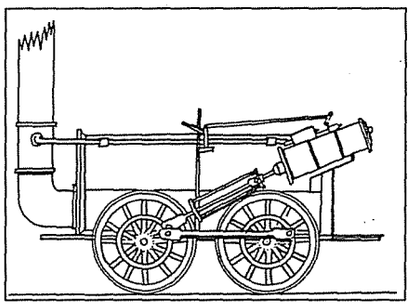


Şekil – 10.64: *Rocket*'in 8 Ekim 1829 günü Rainhill'de yaptığı deneme seferinde hızını belirlemek için tutulan zaman çizelgesi. [Smith, s. 21].

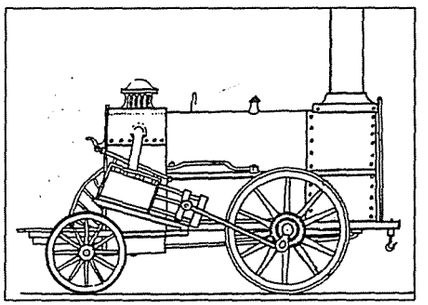
George Stephenson 1829'da ilk lokomotifi *Rocket*'i yaptıktan sonra sürekli olarak lokomotifi geliştirerek yeni modeller ortaya koydu. Stephenson'un 1829 – 1835 arasında geliştirdiği lokomotif tiplerinin şemaları (Şekil – 10.65)'de ve ürettiği lokomotiflerin bazıları da (Şekil – 10.66, 10.67, 10.68, 10.69 ve 10.70)'da verilmiştir. Bu sırada başka kişiler tarafından da lokomotifler geliştirilmeye başlandı. Liverpool & Manchester Railway'de 1829'da çalışan iki lokomotif (Şetkil – 10.71 ve 10.72)'de gösterilmiştir.



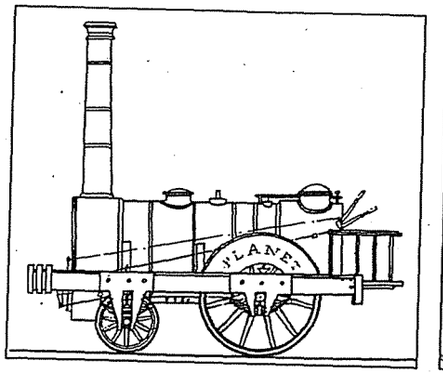
Şekil – 10.65: George Stephenson tarafından *Rocket*'den başlayarak 1829 – 1835 döneminde üretilen lokomotif tipleri. [Klemm, s. 147].



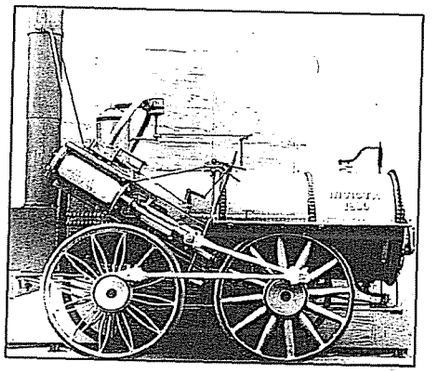
Şekil – 10.66: George Stephenson tarafından üretilmiş olan *Lancashire Witch* adlı lokomotif. [Smith, s. 17].



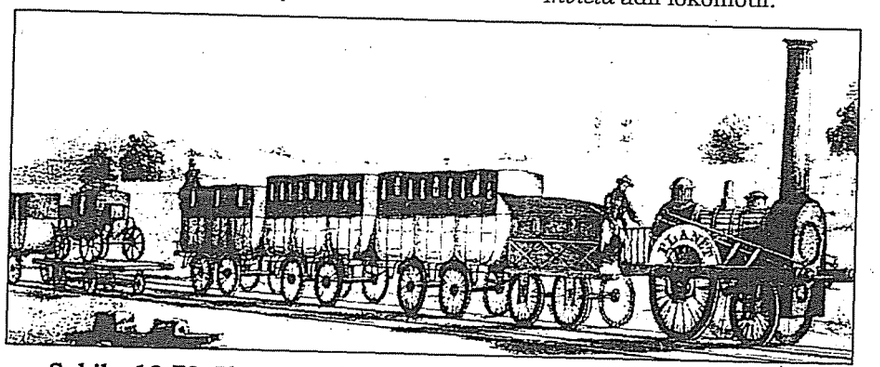
Şekil – 10.67: George Stephenson tarafından üretilmiş olan *Northumbrian* adlı lokomotif. [Smith, s. 17].



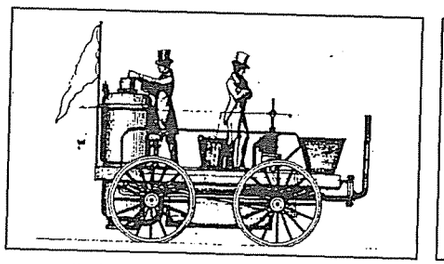
Şekil – 10.68: George Stephenson tarafından üretilmiş olan *Planet* adlı lokomotif. [Smith, s. 17].



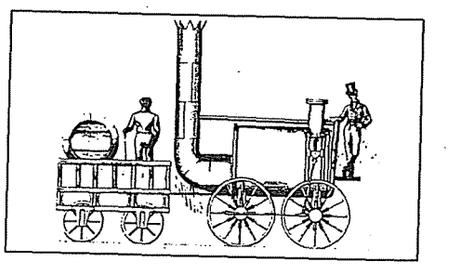
Şekil – 10.69: George Stephenson tarafından üretilmiş olan ve bacası arkada bulunan *Invicta* adlı lokomotif.



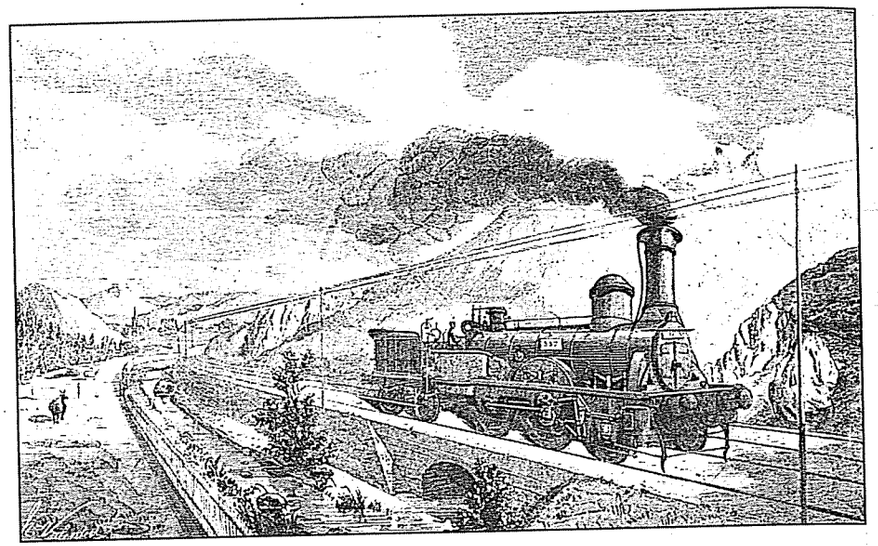
Şekil – 10.70: Planet tarafından çekilen tren Liverpool & Manchester Railway üzerinde ilerlerken. [Smith, s. 10].



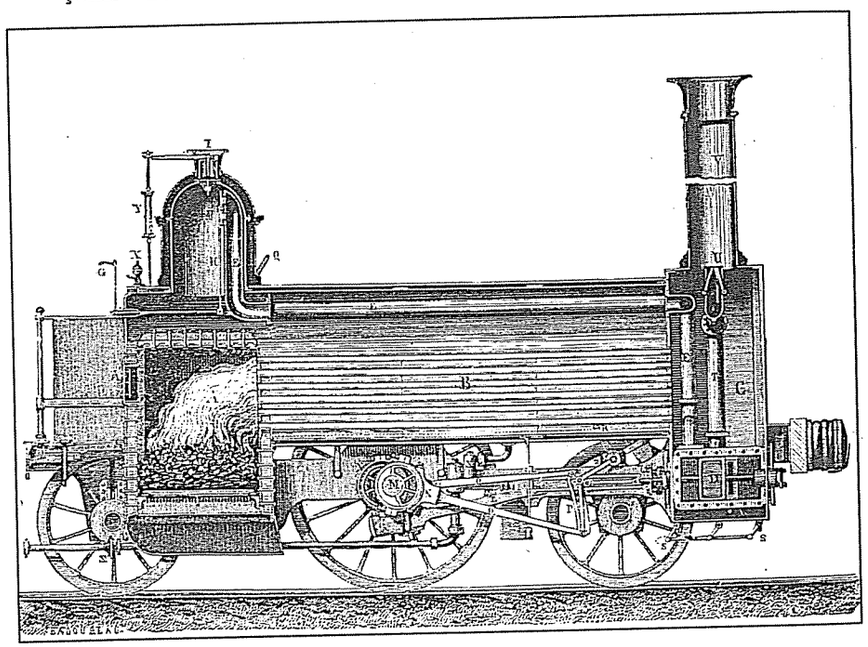
Şekil – 10.71: Londra'da Braithwaite & Ericsson tarafından 1829'da Liverpool & Manchester Railway için üretilmiş olan *Novelty* adlı lokomotif. [Smith, s. 18].



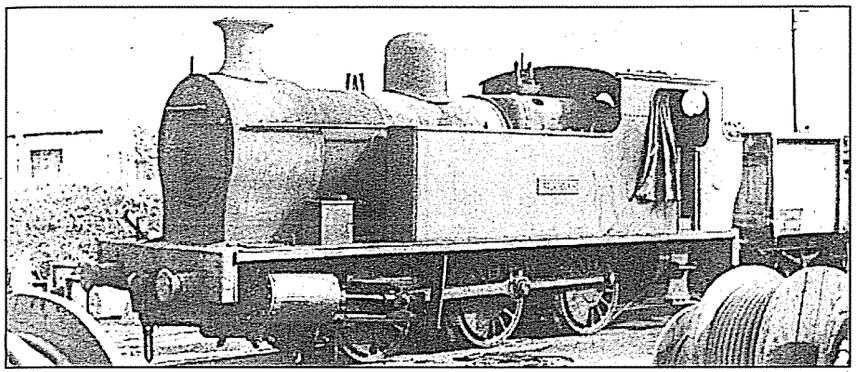
Şekil – 10.72: Darlington'da Mackworth tarafından 1829'da Liverpool & Manchester Railway için üretilmiş olan *Sanspareil* adlı lokomotif. [Smith, s. 18].



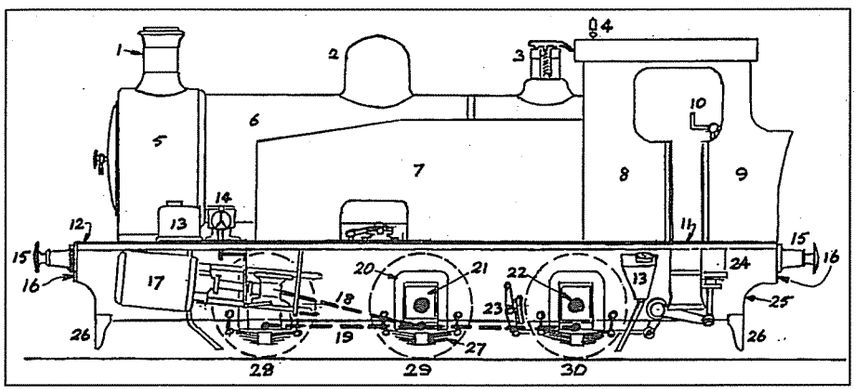
Şekil – 10.73: 1860'larda bir lokomotif ve tenderi. [Figuier, s. 227].



Şekil – 10.74: 1880'lerde bir lokomotifin kesiti. [Bory, 177].



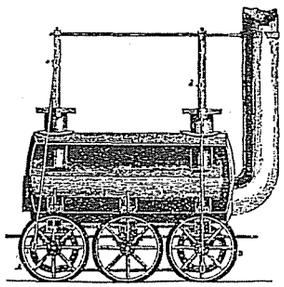
Şekil – 10.75: XX. yüzyıl başlarından 1967 yılına kadar kullanılan ve tekerlek düzeni 0-6-0 olan küçük bir manevra lokomotifi. [Hayes, s. 19].



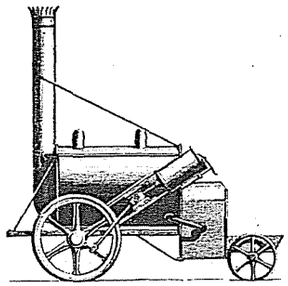
Şekil – 10.76: Silindir çapı 16 inç, tekerlek düzeni 0-6-0 olan ve su tankları yanlarda buluna bir buharlı lokomotifin kısımları: 1) baca, 2) kubbe kapağı, 3) emniyet supapı, 4) düdük, 5) duman kutusu, 6) kazan, 7) yan tank, 8) kabin, 9) kömürlük, 10) el freni, 12) yürüme yeri, 13) kum kutusu, 14) mekanik silindir yağlayıcı, 15) tamponlar, 16) tampon kolları, 17) silindir, 18) biyel, 19) bağlantı kolu, 20) eksen yatağı desteği, 21) eksen yatağı, 22) eksen, 23) fren papucu, 24) buharlı fren silindiri, 25) çerçeve, 26) koruyucu demir, 27) yay, 28) ön sürücü tekerlek, 29) sürücü tekerlek, 30) arka sürücü tekerlek. [Hayes, s. 20].

İngiliz lokomotiflerinin XIX. yüzyıldaki gelişimi (Çizelge – 10.4)'de ve kendine özgü bir baca biçimi ve silueti olan Amerikan lokomotiflerinin gelişimi de (Çizelge – 10.5)'de verilmiştir.

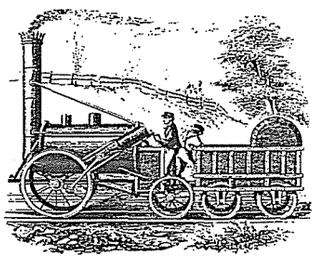
ÇİZELGE – 10.4
XIX. yüzyılda İngiliz lokomotiflerinin gelişimi



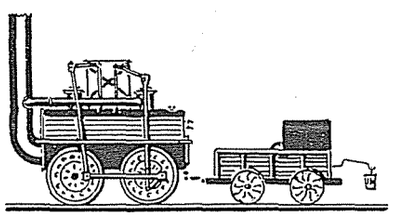
George Stephenson'un 1815'de kömür vagonlarını çekmek için yaptığı 4 mil/h lik bir hıza sahip olan buharlı arabası. [Bernal, s. 51].



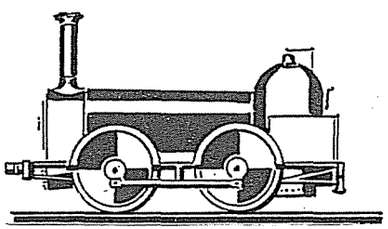
Georg Stephenson'un 1829'da yaptığı *Rocket* adlı lokomotif. Bu lokomotifin 30 mil/h olan hızı demiryolu taşımacılığı için uygun bir hızdı. [Figuier, s. 223].



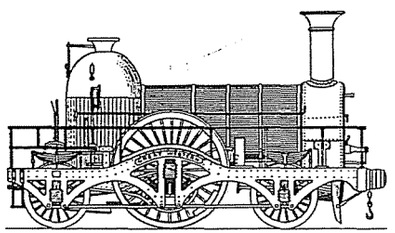
Robert Stepherson'un *Rocket* adlı lokomotifi ile kömür ve bir tahta fıçı içinde su taşıyan tenderi hareket halinde iken. [Derry ve Williams, s. 331].



Robert Stepherson and Co. tarafından Stockton – Darlington demiryolu için 1825'de üretilen "Locomotion No. 1". Bu lokomotifin 9,5x24" lik iki silindiri vardır. [Glover, s. 14].

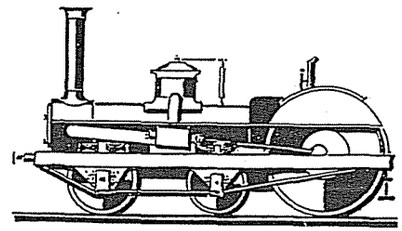


Edward Bury tarafından 1837'de Londra – Birmingham demiryolu için üretilen lokomotif. 1841'de bunlardan 88 tanesi çalışıyordu. [Glover, s. 15].

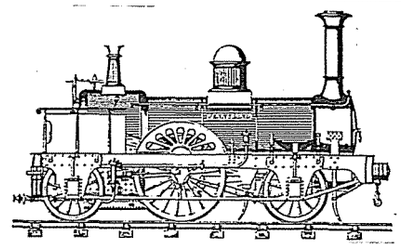


Daniel Gooch (1816 – 1889) tarafından 1846'da Great Western Railway için yapılan lokomotif. [Dery ve Williams, s. 334].

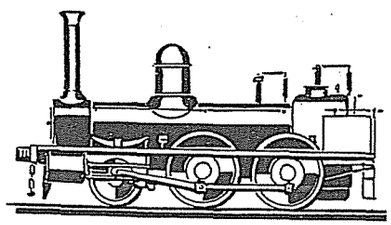
ÇİZELGE – 10.4 (Devam)



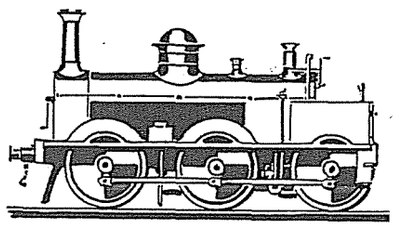
Crampton tarafından 1847'de London and North Western Railway için geliştirilen sistem. Lokomotifin toplam ağırlığı 25,5 ton ve iki büyük tekerleğin toplam ağırlığı 12 tondu. [Glover, s. 17].



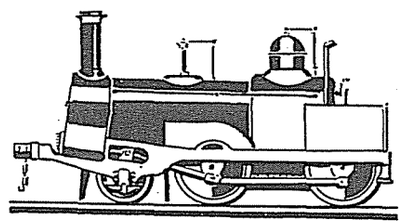
David Joy tarafından 1847'de yapılan çok başarılı bir yolcu lokomotifi olan *Jenny Lind.* [McNeil, s. 570].



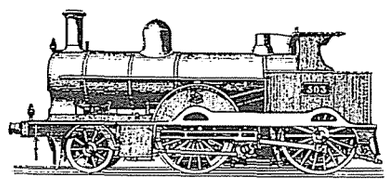
Robert Stephenson & Co. tarafından Eastern Countries Railway için 1848'de yapılan uzun kazanlı R4 tipi lokomotif. [Glover, s. 20].



McCornell tarafından 1854'de London & North Western Railway için yapılan 26 tonluk lokomotif. [Glover, s. 23].

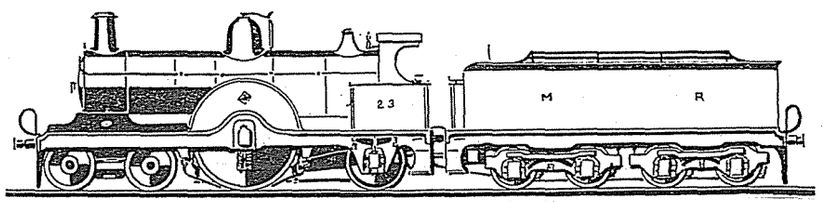


William Buddicom ve yardımcısı Alexander Allan tarafından Inverness & Aberdeen Junction Railway için 1858'de geliştirilen "Crewe" tipi lokomotif. [Glover, s. 16].

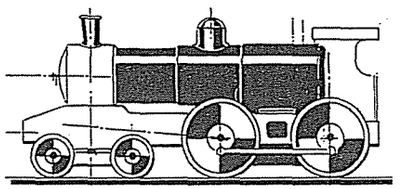


Francis Webb (1836 – 1906) tarafından 1884'de London & North Western Railway için yapılan üç silindirli ve bileşik ekspres lokomotifi. [Derry ve Williams, s. 335]

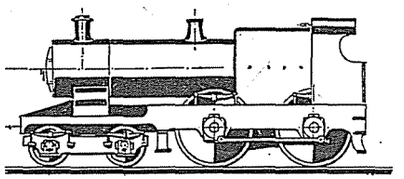
ÇİZELGE – 10.4 (Devam)



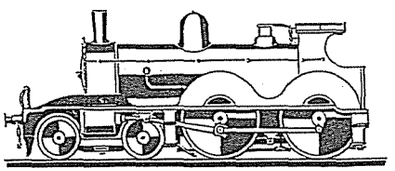
Johnson tarafından Midland Railways için 1887'de yapılan ve hareketli bir çift tekerleği olan lokomotif. Bu lokomotiflerden 95 tane üretilmiştir. [Glover, s. 53].



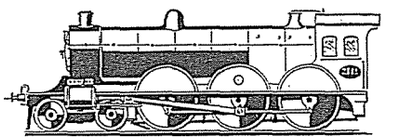
1890'larda yapılan 50 – 55 tonluk lokomotiflerin genel planı. [Glover, s. 49].



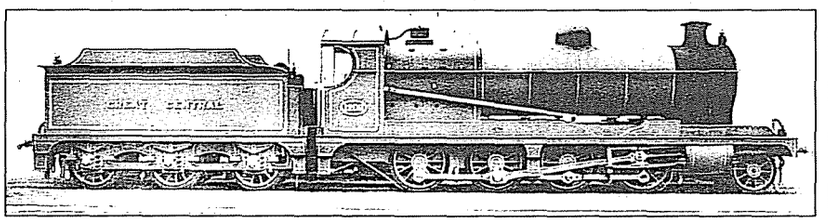
1890'lı yıllarda Great Western Railway için yapılan *Atbara* adlı lokomotif. [Glover, s. 50].



Adams tarafından 1898'de London & South Western Railway için yapılan ve silindirleri dışarıda olan ekspres lokomotf. [Glover, s. 51].

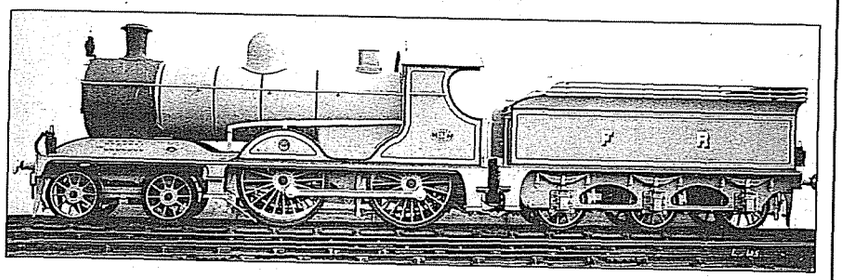


Wilson Worsdell tarafından 1899'da North Eastern Railway için yapılan ekspres lokomotif. [Glover, s. 57].

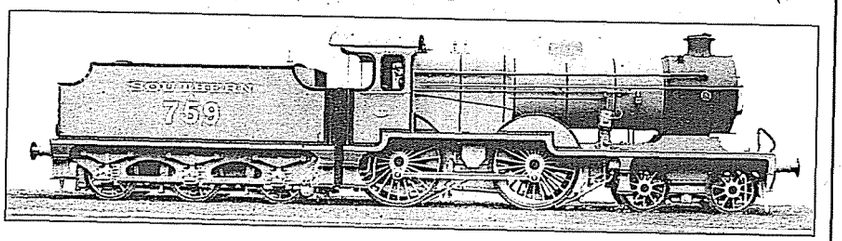


Robinson tarafından üretilen maden lokomotifi. (1911). [Glover, Levha 25].

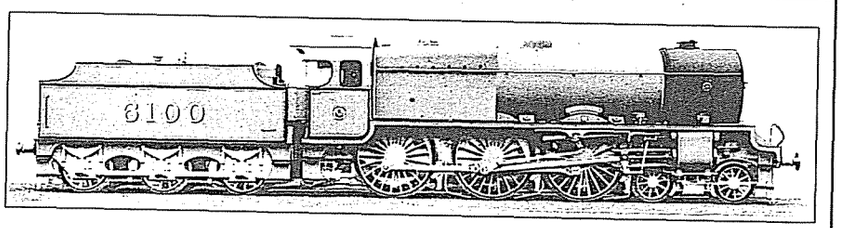
ÇİZELGE – 10.4 (Devam)



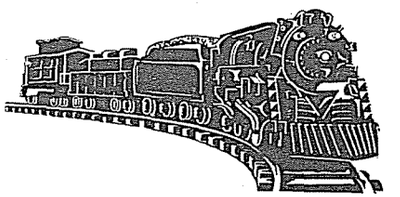
Furness Railway için Pettigrew tarafından üretilen yük ve yolcu lokomotifi. (1913). [Glover, Levha 26].



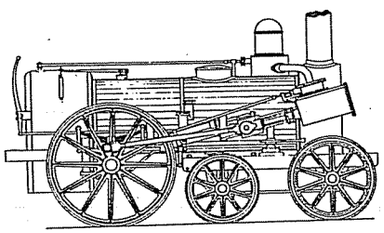
Maunsell tarafından Southern Railway için üretilen lokomotif. (1926). [Glover, Levha 39].



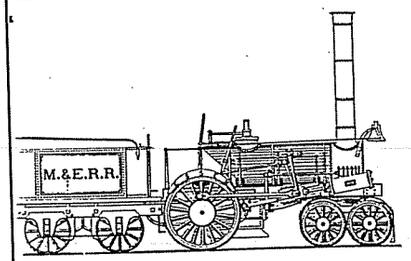
Fowler'in I. M. S. için ürettiği efsanevi ekspres lokomotifi *Royal Scot.* (1927). [Glover, Levha 40].



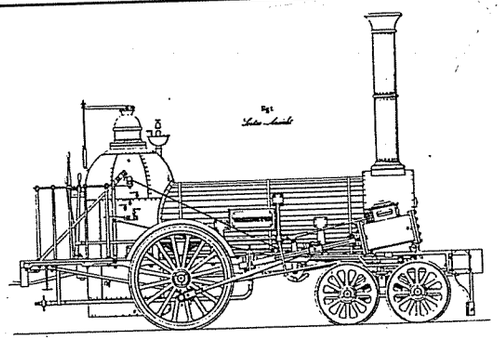
ÇİZELGE – 10.5
XIX. yüzyılda Amerikan lokomotifleri



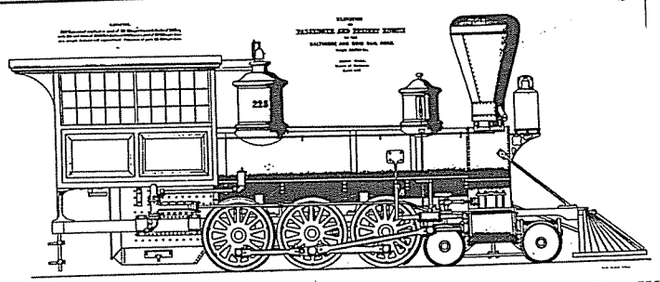
South Carolina Railroad için 1835'de Vulcan Foundry'nin ürettiği "Cincinati" adlı lokomotif. Silindirler 25,5x40,5 cm ve sürücü tekerleğin çapı 137 cm dir. [White, s 11].



Morris and Essex Railroad için Seth Boyden tarafından 1837 – 1838'de üretilen "Essex" adlı lokomotif. [White, s. 200].

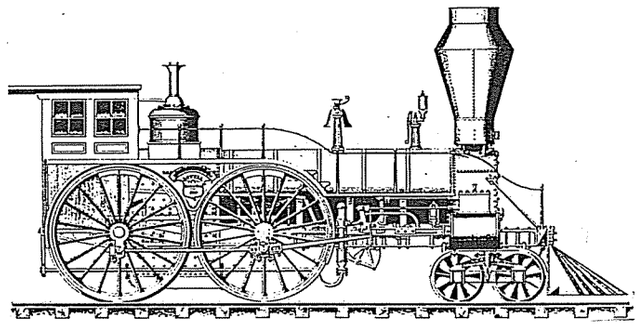


1841'de yapılmış olan bir Norris "Class B" lokomotif. Bu lokomotif erken dönem Amerikan yapımı lokomotiflerin mükemmel örneklerinden biridir. [White, s. 43].

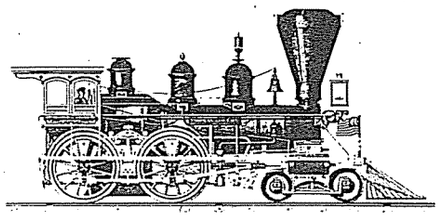


Denmead tarafından Ağustos 1857'de yapılmış olan "Tyson Ten Wheeler No. 225". [White, s. 371].

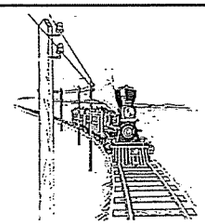
ÇİZELGE – 1 0.5 (Devam)



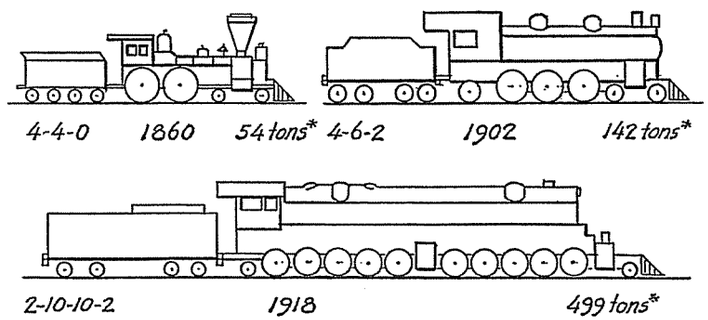
Hudson River Railroad için Temmuz 1852'de Lowell Machine Shop tarafından üretilen ekspres lokomotifi "Columbia". [White, s 338].



Bacasının biçimi ve silueti ile tipik bir Amerikan lokomotifi. [White, s. 11].



Amerika'da Batı'yı yerleşime açan demiryollarını 1860'lı yıllarda telgraf hatları izledi. [Pacey, s. 139].

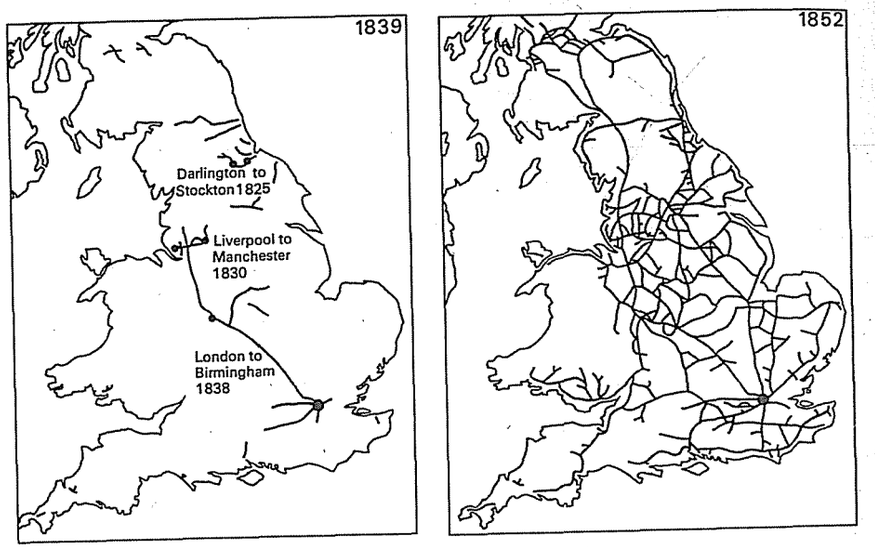


Amerikan lokomotiflerinin gelişimi: Stephenson'un lokomotifleri ile XX. yüzyılın Amerikan lokomotifleri karşılaştırıldığında ağırlıklarının 7 – 8 tondan 210 tona, kazan uzunluklarının 2 m den 26 m ye, çekme güçlerinin 20 – 35 km/h hızda 100 tondan 160 km/h hızda 600 tona çıkmış olduğu ve buna karşılık bir beygir gücü için yakıt tüketiminin de 6 kg dan 1 kg düzeyine düşmüş olduğu görülür. [Finch, s. 429].

DEMİRYOLLARININ GELİŞİMİ

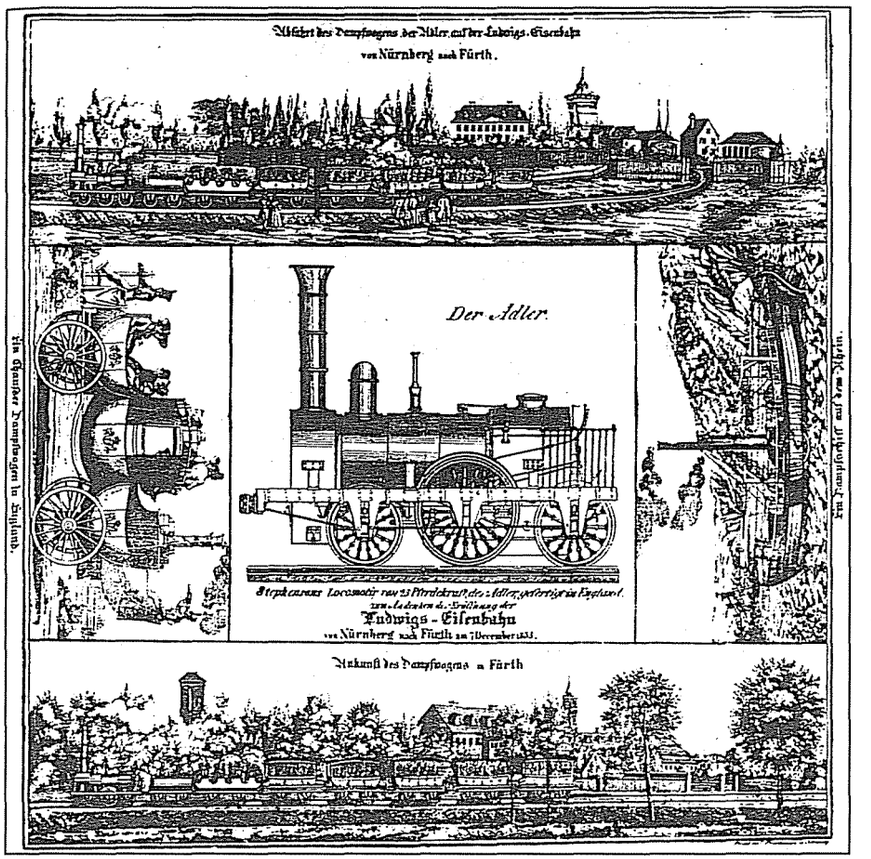
Avrupa'da ve Dünya'da demiryollarının gelişimi

George Stephenson tarafından ilk kullanışlı lokomotifin yapılmasından çok kısa sayılabilecek bir süre sonra İngiltere bir demiryolu ağı ile örülmüştür. Demiryollarının 1839 – 1852 arasını kapsayan 13 yıllık dönemde gösterdiği gelişimin ulaşıma getirdiği kolaylık Sanayi Devrimi'nin İngiltere'de XIX. yüzyılın ortalarında doruk noktasına ulaşmasına büyük katkıda bulunmuştur. İngiltere'deki demiryolu ağı 1920'li yıllara kadar sürekli olarak gelişim göstermiştir. (Şekil – 10.77).



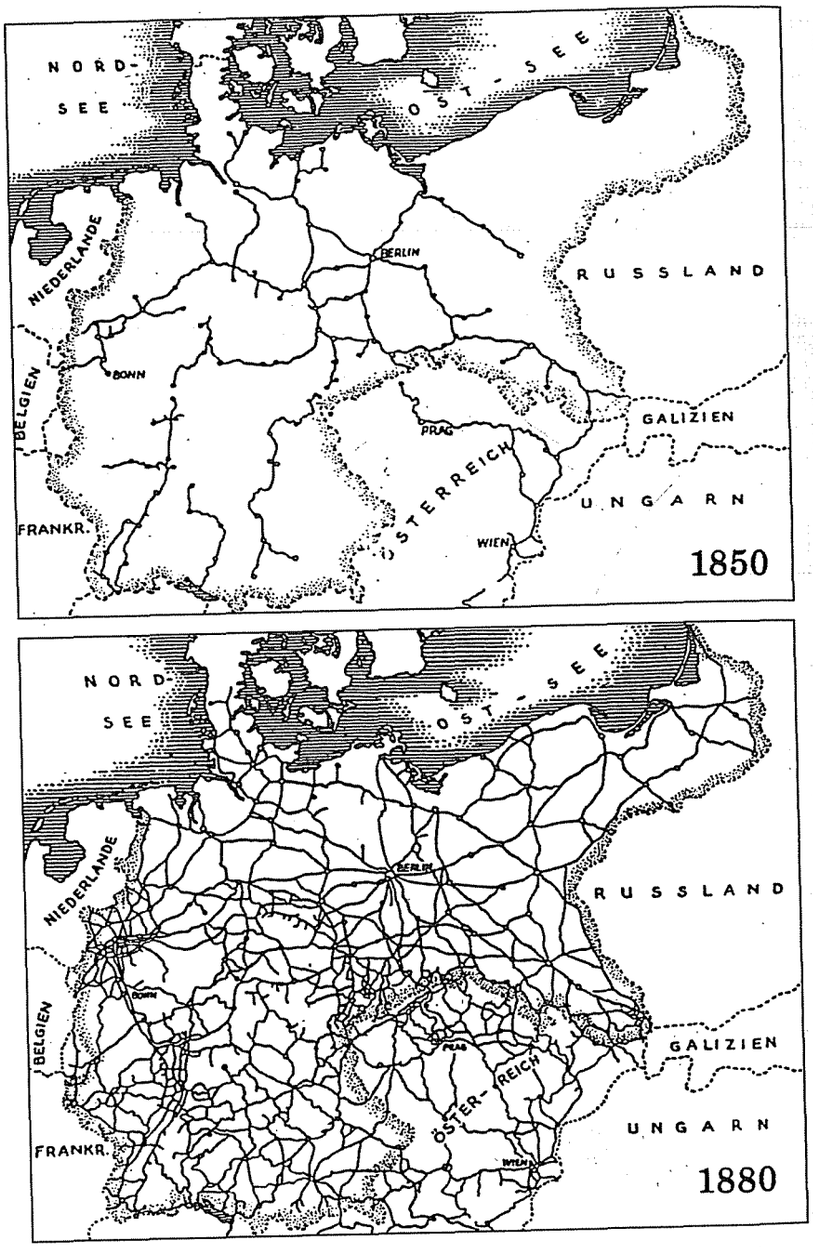
Şekil – 10.77: İngiltere'de demiryollarının 1839 – 1852 dönemindeki hızlı gelişimi. [Newth, s. 52].

Alamanya'daki ilk demiryolu Nürnberg ile Fürth arasında yapılmış ve İngiltere'den getirtilen Stephenson yapımı *Adler* adlı bir lokomotir ile ilk tren 7 Aralık 1835'de hareket etmiştir. (Şekil – 10.78). Sanayi devriminde İngiltere'yi izleyen Almanya'daki demiryolları da bu ülkedeki sanayi devriminin gelişimine paralel olarak özellikle 1830 – 1850 döneminde çok hızlı bir gelişim göstermiştir. (Şekil – 10.79).



Şekil – 10.78: Nürnberg ile Fürth arasında işleyen ilk Alman treni. (7 Aralık 1835). Üstte trenin Nürnberg'den ayılışı ve altte Fürth'e varışı gösterilmiştir. Ortada ise İngiliz yapımı lokomotifi *Adler* görülmektedir. [Glaser, s. 118].

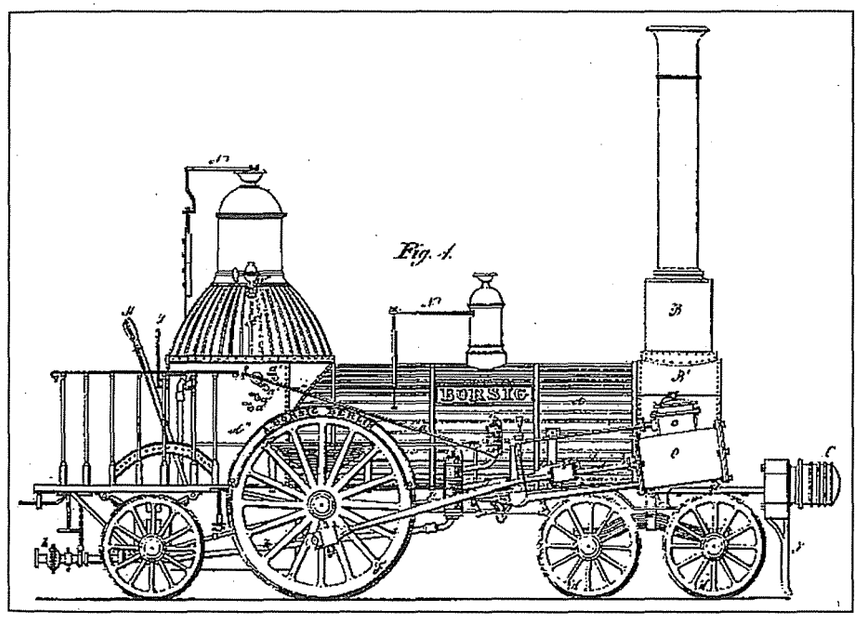
Alman mühendis Johann Friedrich August Borsig (1804 – 1854) (Şekil – 10.80 ve 10.81) Almanya'da lokomotif yapımının öncüsü olmuştur. Borsig kendi firmasının adını taşıyan ilk lokomotifi 1840'da üretmiştir. (Şekil – 10.82 ve 10.83). Daha sonraki yıllarda başta Krupp firması olmak üzere bir çok kuruluş buharlı lokomotif ve vagon üretmeye başlamış ve Almanya önemli bir lokomotif ihracatçısı durumuna gelmiştir. Türkiye'de Cumhuriyet döneminde kullanılan lokomotiflerin hemen tümü Alman malıdır. İngiltere'den farklı olarak Almanya'daki demiryolu işletmeciliği devlet eliyle yürütülmüştür.



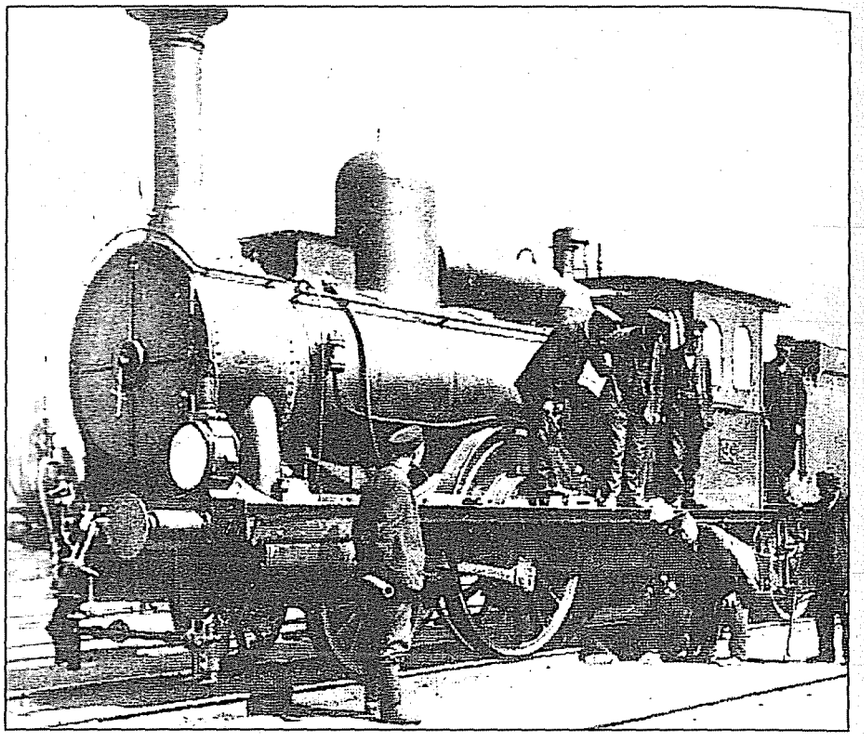
Şekil – 10.79: Almanya'daki demiryollarının 1850 – 1880 dönemindeki hızlı gelişimi. [Derry ve Williams, s. 302 – 303].

Şekil – 10.80: Johann Friedrich August Borsig. (1804 – 1854).

Şekil – 10.81: Borsig'in ölümünün yüzüncü yılında çıkartılmış bir posta pulu.

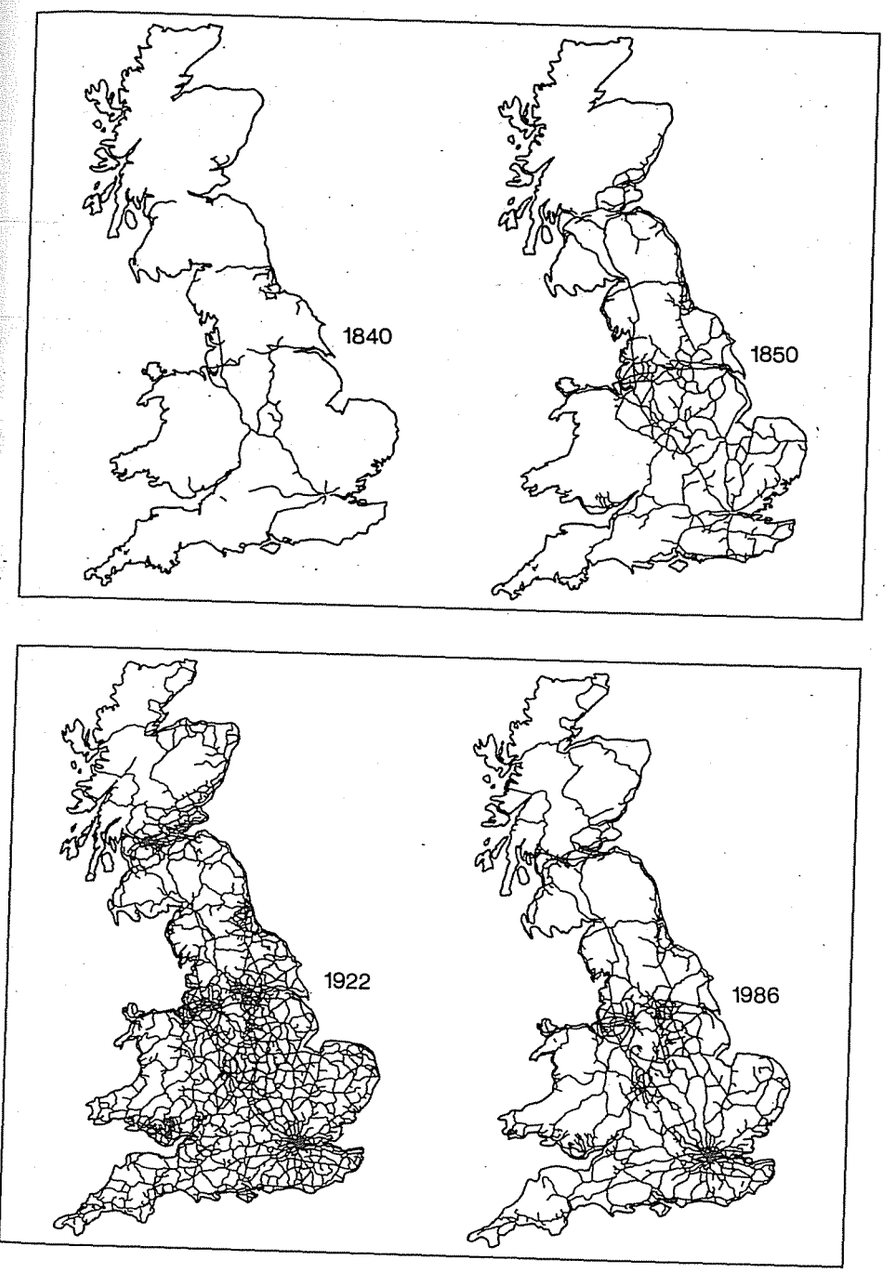


Şekil – 10.82: 1841'de Berlin'de August Borsig tarafından üretilen ve kendisinin adını taşıyan lokomotif. [Glaser, s. 119].



Şekil – 10.83: Varşova – Viyana hattında çalışan bir Borsig lokomotifi.

Sanayi Devrimi'nin yayılıp gelişmesiyle birlikte demiryolları hızlı bir gelişim göstermeye başlamış ve bir ülkede bir yılda döşenen demiryolunun uzunluğu o ülkenin sanayileşme hızının bir ölçütü durumuna gelmiştir. (Çizelge – 10.6). Demiryolu döşemenin maksimuma ulaştığı dönemler ülkelerin kendi sanayi devrimlerini tamamladıkları dönemlere karşılık gelmektedir. Bu dönemler İngiltere için 1840'lı, Almanya için 1870'li, Fransa ve Amerika için 1880'li yıllara karşılıktır. Yeni demiryollarının döşenme hızı 1910'lu yıllara gelindiğinde büyük ölçüde azalmıştır. Özellikle Birinci Dünya Savaşı'nın ardından demiryolu taşımacılığı giderek terk edilmeye başlanmış, bunun sonucunda birçok hat kullanım dışı kalmış ve demiryolu ağı giderek küçülmeye başlamıştır. (Şekil – 10.84). Amerika'da demiryolu bir yandan sanayinin gelişmesinin bir ölçütü olduğu gibi öte yandan da Batı'nın yerleşime açılmasının bir aracı olmuştur.



Şekil – 10.84: İngiltere'deki demiryolu ağının 1839 – 1986 dönemindeki genişlemesi ve ardından küçülmesi. [Cossons, s. 276 – 277].

ÇİZELGE – 10.6
Avrupa'da ve Dünya'da demiryollarını gelişimi (km olarak)

Dönem	İngiltere	Fransa	Almanya	Avrupa	A.B.D.	Dünya
1841 – 50	**9.300**	2.500	5.500	20.600	10.000	30.900
1851 – 60	4.100	6.500	5.600	28.300	34.800	69.300
1861 – 70	8.200	8.400	8.000	53.100	36.000	102.400
1871 – 80	4.000	8.800	**14.000**	**64.000**	65.600	162.600
1881 – 90	3.400	**10.700**	9.000	54.900	**117.700**	**242.700**
1890 – 00	2.900	4.000	8.000	59.800	42.500	173.400
1900 – 10	2.300	6.500	10.000	50.500	77.000	237.000
1910 – 22	1.700	4.200*	– 4.000*	33.900	17.800	162.700
1923 – 34	– 800	– 200	300	– 3.000	3.000	24.500
1935 – 37	– 130	360	200	4.200**	– 4.100	10.170

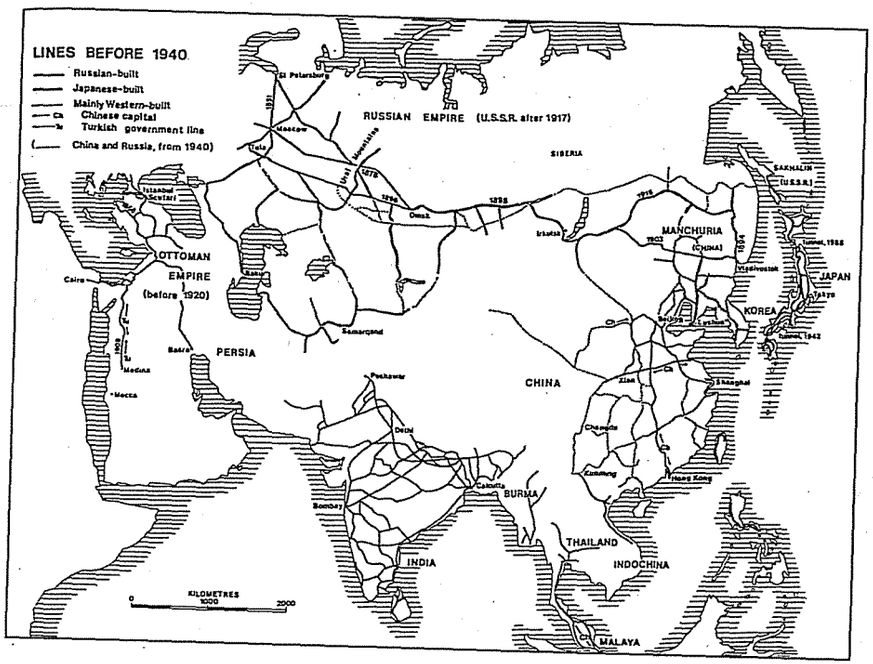
* Birinci Dünya Savaşı'nda kazanılan ve kaybedilen yerler nedeniyle.
** Bunun 3.800 km si Türkiye ve Sovyetler Birliği'nde döşenmiştir.

Demiryollarının gelişimi Avrupa'da sanayinin gelişiminin bir ölçütü olmakla birlikte Afrika ve Asya'daki bölgeler için sömürgeleştirmenin bir aracı olmuştur. İngiltere'nin Hindistan ve Çin'de, Japonya'nın Mançurya'da, Fransa'nın Güneydoğu Asya'da ve Rusya'nın Sibirya'da döşediği demiryolları bu bölge ve ülkelerin sömürülmesine yöneliktir. **(Şekil – 10.85)**.

Türkiye'de demiryollarının gelişmesi

Osmanlı İmparatorluğu döneminde döşenen ilk demiryolu İzmir – Aydın demiryoludur. Bu yolun imtiyazı İngilizlere verilmiş ve 1856'da inşaatına başlanarak 1866'da Aydın'a ulaşmıştır. İstanbul'a ilk tren 12 Ağustos 1888 tarihinde ulaşmıştır. Osmanlı döneminde 1856 – 1922 yılları arasını kapsayan 66 yıl içinde toplam 8434 km demiryolu döşenmiştir. Bunların içinde, 1900'de yapımına başlanılan ve 1908'de Medine'ye ulaşan "Hicaz Demiryolu" Osmanlılar tarafından yerli teknik olanaklar ve mali kaynaklar kullanılarak yapılmış olup 1320 km uzunluğundadır. Bütün öteki demiryolları yabancılar tarafından yapılmış, demiryolu yapımı için İngiltere, Almanya, Fransa ve Rusya arasındaki çekişmeler Osmanlı Devleti'nin önemli bir dış politika sorunu olmuştur. Verilen yapım ve işletme imtiyazları *kilometre*

garantisi adı verilen ve devletin km başına belirli bir yıllık kârı garanti etmesi anlamına gelen yükümlülükleri içerdiğin-den bunlar Türkiye'nin başına büyük mali dertler açmıştır.



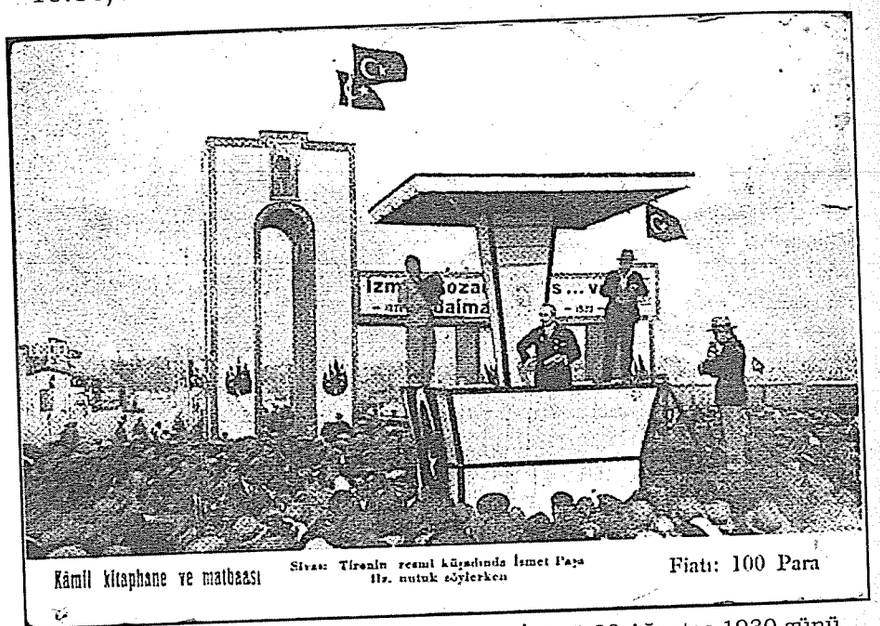
Şekil – 10.85: 1940 öncesinde Asya'daki demiryolları. [Pacey, s. 160].

Osmanlı İmparatorluğu'nda 1856 – 1866 döneminde 452 km demiryolu döşenmiştir ve yapım hızı 45 km/yıl dır, 1856 – 1922 döneminde 1320 km si Hicaz demiryolu olmak üzere toplam olarak 8434 km demiryolu döşenmiştir ve yapım hızı 127 km/yıl ve Hicaz dışında 100 km/yıl düzeyindedir. Hicaz demiryolunda ise yıllık hız 146 km dir. Bu 8434 km demiryolunun 386 km si 1878 Berlin Antlaşması, 395 km si 1885'de Doğu Rumeli'nin Bulgaristan ile birleşmesi, 1326 km si Balkan Savaşı ve 2526 km si de Birinci Dünya Savaşı sonucu elimizden çıkan yerlerle birlikte kaybedilmiş olup Türkiye Cumhuriyeti'ne 3801 km demiryolu kalmıştır.

Cumhuriyet'i kuran kadrolar Birinci Dünya Savaşı sırasında demiryollarının yetersizliğinin çok büyük sıkıntısını çekmiş olduklarından Cumhuriyet'in hemen ardından bir

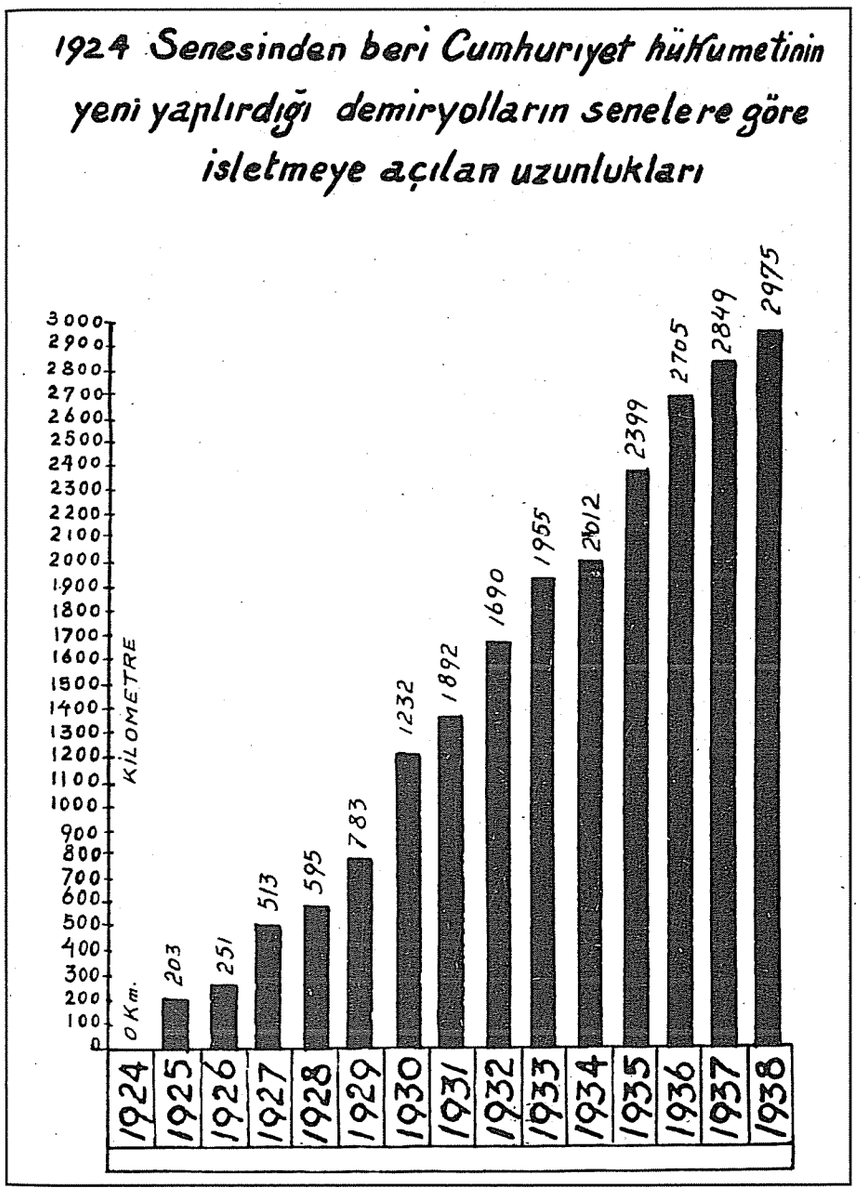
demiryolu siyaseti uygulanarak 1925 – 1938 dönemini kapsayan 14 yılda 212,5 km/yıl hızla 2975 km demiryolu döşenmiştir. Bir yandan yeni hatlar döşenirken öte yandan da Osmanlı döneminden kalmış olan demiryolu hatları bunları işleten yabancı şirketlerden satın alınmıştır.

30 Ağustos 1930'da Sıvas demiryolunu açan dönemin Başbakanı İsmet İnönü, "Millî devlet için şömendöfer ihtiyacı, millî vahdet, millî müdafaa ve millî siyaset meselesi, asırların muhassılası olan millî istiklâlin muhafazası meselesidir" diyerek Cumhuriyet'in demiryolu siyasetini özetlemiştir. (Şekil – 10.86).



Şekil – 10.86: Dönemin Başbakanı İsmet İnönü 30 Ağustos 1930 günü Sıvas istasyonunda yapılan Ankara – Sıvas demiryolunun açılış töreninde konuşurken. Çok önemsenen bu olayın fotoğrafı kartpostal olarak da basılmıştır. [E. Dölen koleksiyonu].

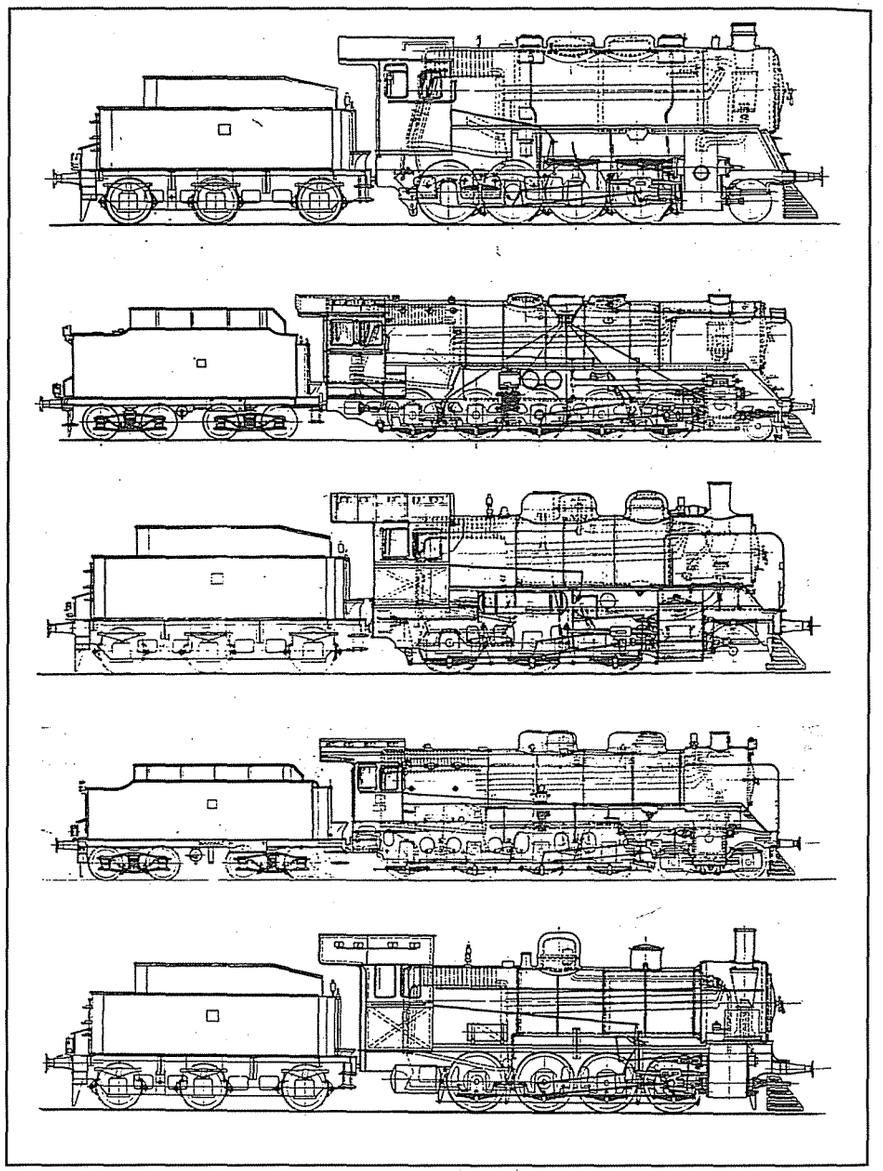
Cumhuriyet döneminde 1925 – 1938 yılları arasında döşenen demiryolu uzunluğundaki artış (Şekil – 10.87)'de, kullanılmış olan lokomotiflerden örnekler (Çizelge – 10.7)'de ve son buharlı lokomotiflerden görüntüler (Şekil – 10.88, 10.89, 10.90 ve 10.91)'de verilmiştir.

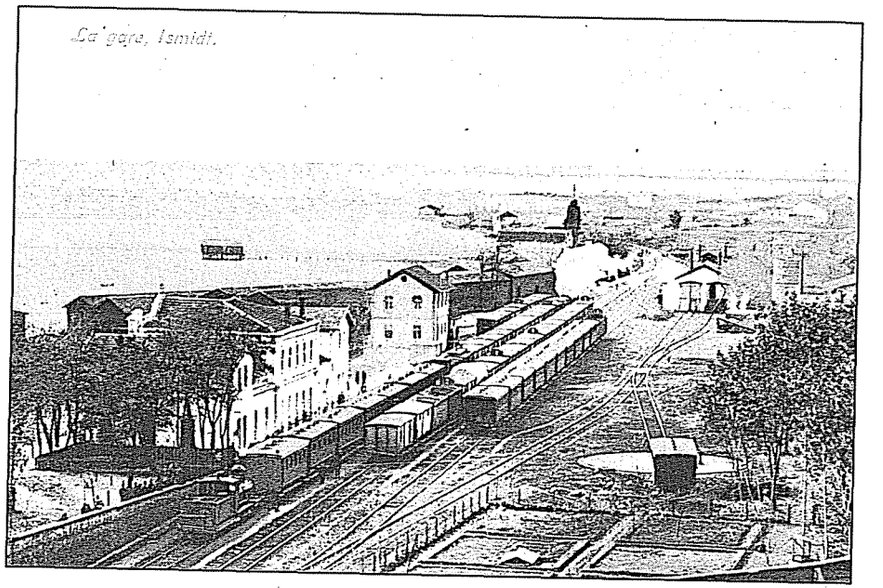


Şekil – 10.87: Cumhuriyet'in ilk 15 yılıda döşenen demiryolları. [*On Beşinci Yıl Kitabı*, s. 282].

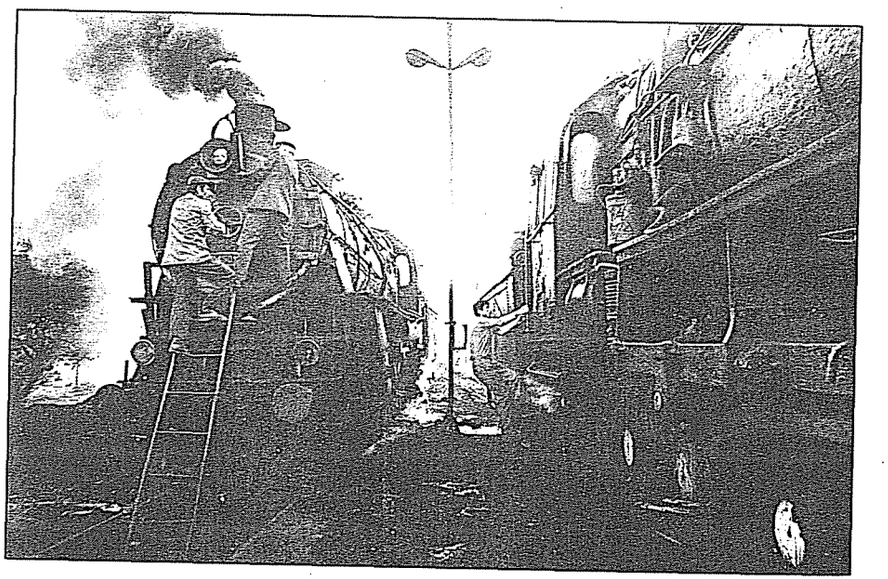
ÇİZELGE – 8.7

Türkiye'de Cumhuriyet döneminde TCDD tarafından kullanılmış olan buharlı lokomotiflerden örnekler

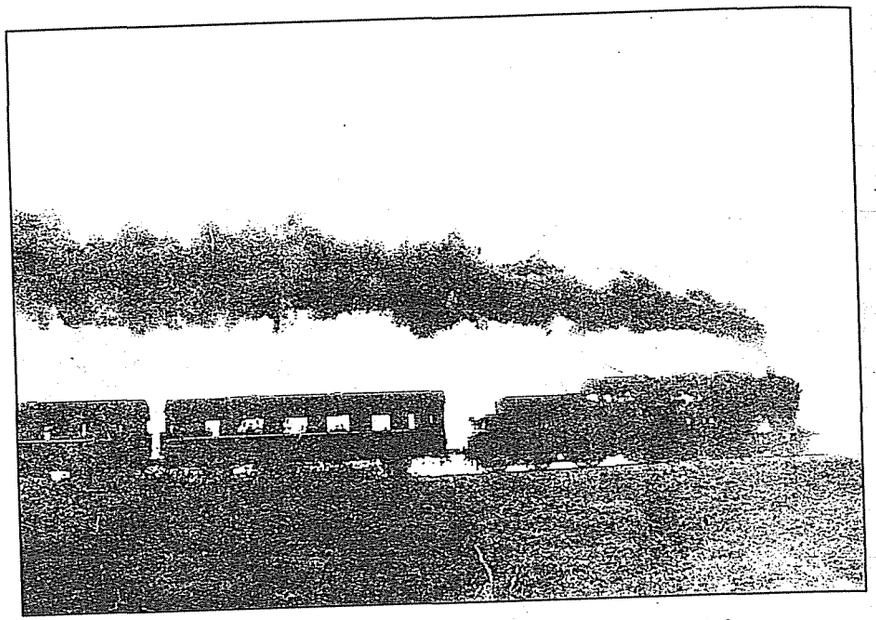




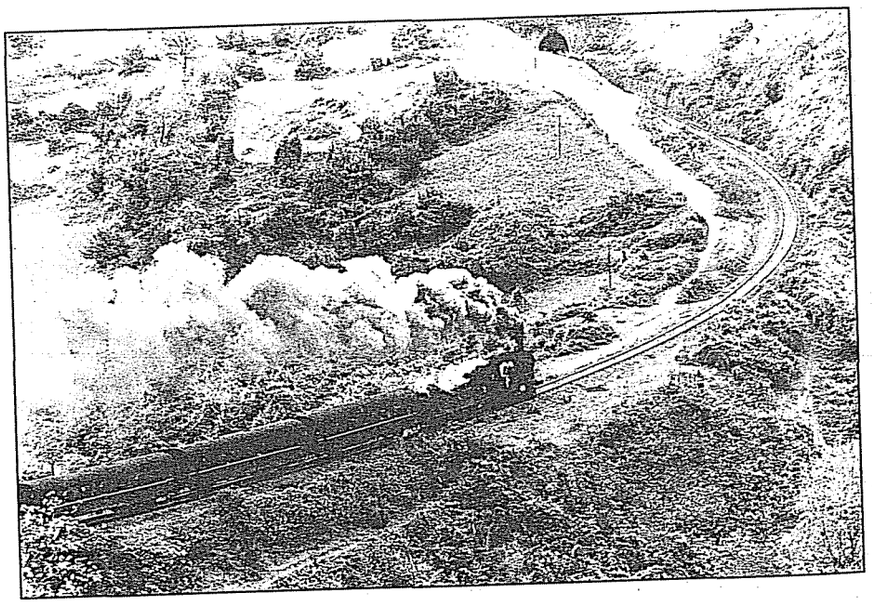
Şekil – 10.88: XX. yüzyılın başında İzmit istasyonunun genel görünümü. (E. Dölen koleksiyonu].



Şekil – 10.89: TCDD'nin buharlı lokomotifleri. [Foto: S. Kundakçı].



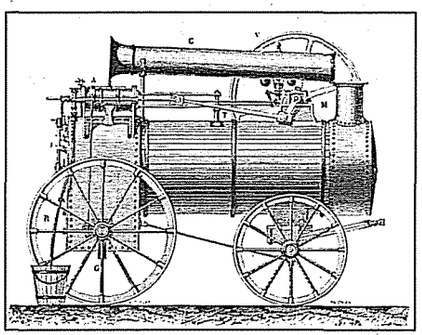
Şekil – 10.90: Bir banliyö treni. [Foto: S. Tosunoğlu].



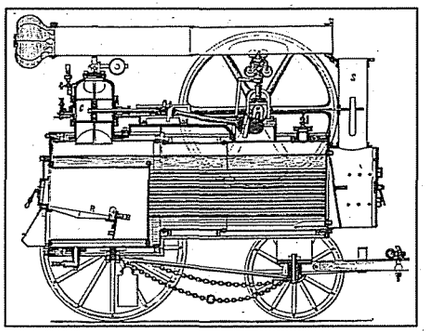
Şekil – 10.91: Rampa çıkan bir yolcu treni. [Foto: S. Kundakçı].

LOKOMOBİLLER

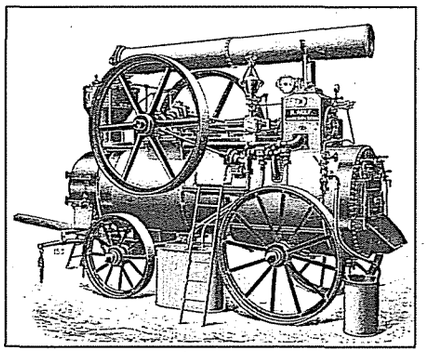
Taşınabilir buhar makinelerine *lokomobil* adı verilir. Lokomobiller altına dört tekerlek takılmış bir buhar kazanının üzerine yerleştirilmiş bir buhar makinesinden oluşurlar. At veya öküzlerle çekilerek kullanılacakları yere götürülürler. (Şekil – 10.92, 10.93 ve 10.4).

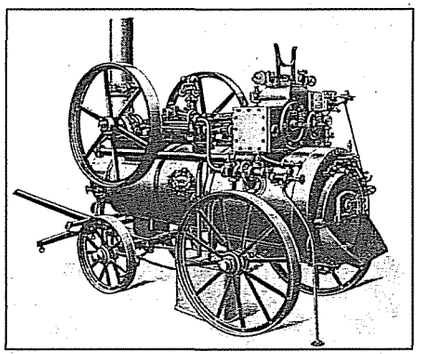


Şekil – 10.92: Bir lokomobilin genel grünümü. [Figuier, s. 235].



Şekil – 10.93: Bir lokomobilin kesiti. [Grunmach ve Rıosenboom, s. 737].

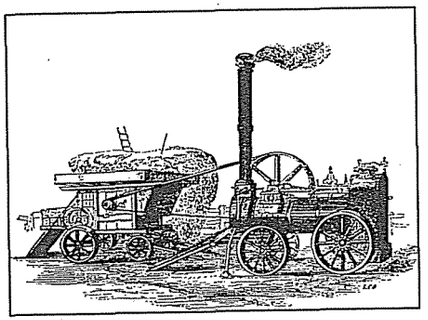




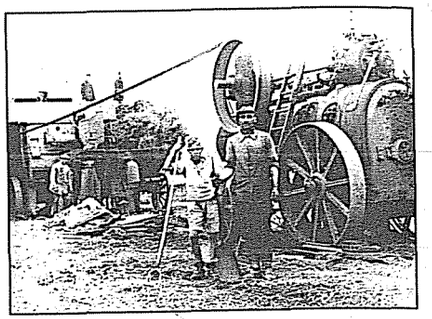
Şekil – 10.94: Alman lokomobilleri. [Grunmach ve Rıosenboom, s. 738].

Lokomobiller tarımda harman makinelerini çalıştırmak veya çift sürmek için (Şekil – 10.95, 10.96, 10.97 ve 10.98) ve bunun dışında inşaatlarda vinçleri ve su pompalarını çalıştırmak amacıyla da kullanılmışlardır. Daha sonra lokomobillerin kendiliğinden hareket edebilir hale gelmesi ile *buharlı traktör* ortaya çıkmıştır. Bu aşamada bir başka

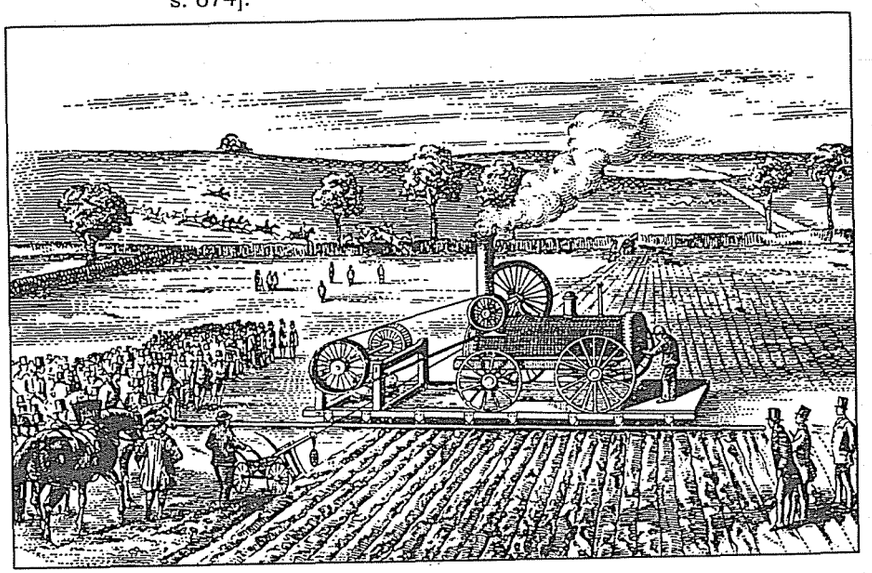
kullanım alanı yol yapımında kullanılan silindirler olmuştur. (Şekil – 10.99 ve 10.100).



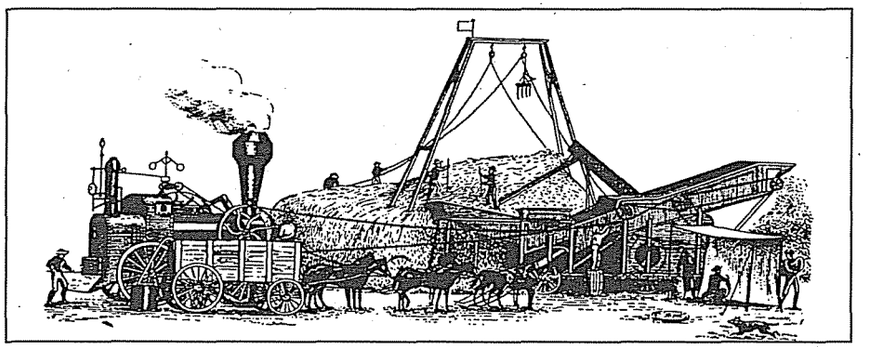
Şekil – 10.95: Lokomobille çalışan harman makinesi. (1840'lar). [Derry ve Williams, s. 674].



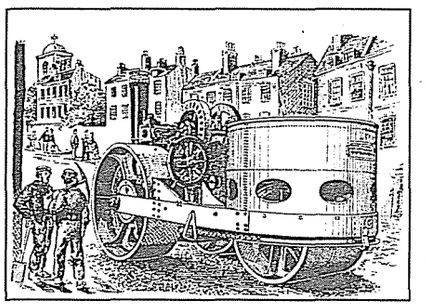
Şekil – 10.96: Lokomobille çalışan harman makinesi. (XX. yüzyıl başları).



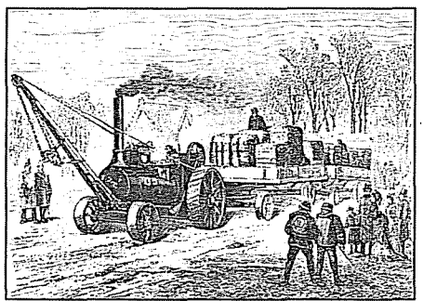
Şekil – 10.97: İngiltere'de lokomobil ile tarla sürme gösterisi. (1851). [Derry ve Williams, s. 684]. Lokomobil veya buharlı traktör ile tarla sürme işinde altlarında kablo sarma düzeneği bulunan iki makine tarlanın iki başına yerleştirilir. Dört veya beş ağızlı büyük bir pulluk her iki tarafından bu makinelere kablo ile bağlıdır. Makinenin biri kabloyo sararken pulluk ona doğru gider ve tarlanın başına geldiğinde pulluk çevrilir ve bu kez öteki makine kabloyu sarmaya başlar. Tarla sürüldükçe makineler de hizayı korumak için birbirlerine paralal olarak ilerletilir.



Şekil – 10.98: Kaliforniya'da lokomobille yapılan harman. (1883). [Derry ve Williams, s. 682].



Şekil – 10.99: İlk kez 1859'da Fransa'da yapılan buharlı yol silindirinin 1866'da İngiltere'de Aveling & Porter tarafından üretilmiş gelişmiş biçimi. [Derry ve Williams, s. 436].



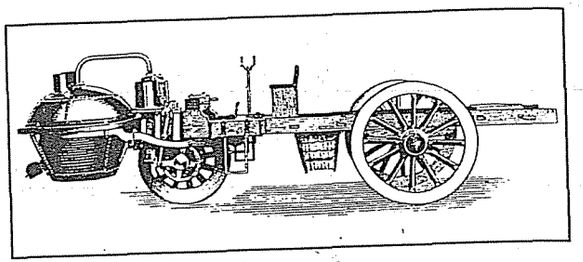
Şekil – 10.100: Lokomobilin kendiliğinden hareket eder biçimi olan hem lokomobil, hem vinç ve hem de çekici olarak kullanılabilen buharlı traktör.

BUHARLI ARABALAR

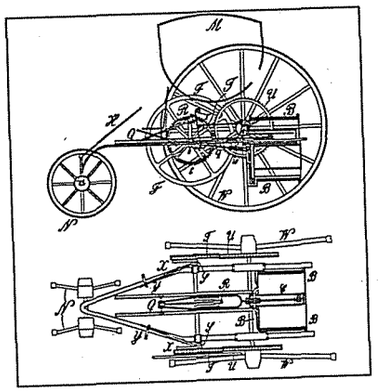
Buhar makinesinin gelişmeye başlaması ile birlikte XVIII. yüzyılın son çeyreğinden itibaren çeşitli kişiler tarafından çok sayıda buharlı araba tasarımı yapılarak bunların patentleri alınmıştır. Bu patentlerin bir bölümü bütünüyle tasarım aşamasında kalmış, bir bölümü ise deneysel düzeyde de olsa gerçekleştirilerek gösteri sürüşleri yapılmıştır. Bunların çok büyük bir bölümü günümüze ulaşmamıştır. Bu konuda ilk örneklerden biri Fransız askeri mühendis Nıcolas Joseph

Cugnot (1725 – 1804)[7] tarafından 1769'da yapılmış olan buharlı arabalardır. (Şekil – 10.101 ve 10.102). Buharlı arabalara bazı örnekler aşağıda verilmiştir. (Şekil – 10.103 – 10.109).

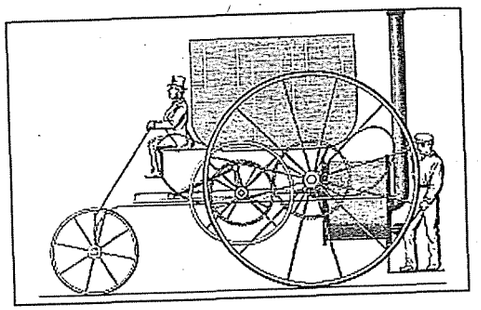
Şekil – 10.101: Nicolas Joseph Cugnot (1725 – 1804).



Şekil – 10.102: Fransız mühendis Nicolas Joseph Cugnot tarafından 1769'da gerçekleştirilmiş olan buharlı araba. [Derry ve Williams, s. 332]. Bu arabanın aslı Paris'de "Musee des Arts et Metiers"de sergilenmektedir.

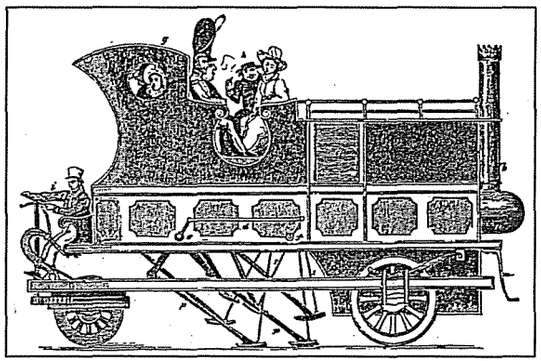


Şekil – 10.103: Richard Trevithick'in buharlı arabasının patent resmi. (1802).



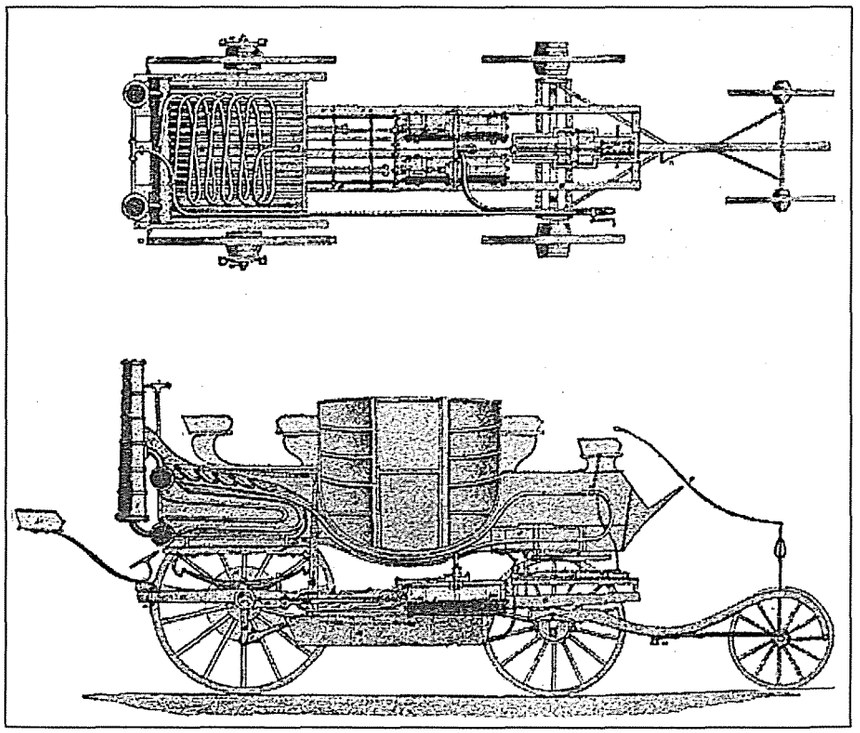
Şekil – 10.104: Richard Trevithick tarafından yapılan buharlı araba. Öndeki kişi sadece direksiyonu idare ederken arkadaki kişi hem buhar kazanının ateşini ve hem de buhar makinesini yönetmektedir. Trevithick bu arabasının ilgi görmemesi üzerine lokomotif yapımına yönelmiştir.

7 *Nicolas Joseph Cugnot (1725 – 1804):* Almanya'da askeri mühendislik eğitimi gördü, Avusturya odusunda hizmet ederek askeri mühendislik eğitimi verdi, Hollanda ordusundaki hizmeti sırasında bir tüfek icat etti ve 1769'da Paris'e döndü. Aynı yıl üç tekerlekli ve iki silindirli olan ve "cabriolet" adı verilen bir buharlı araba yaptı. Bu araba 4 mil/h (6,4 km/h) hız yaptı ve bir kaza sonucunda duvara çarpınca Coservatoire des Arts et Métiers tarafından el konularak koruma altına alındı. Cugno 1771'de ikinci bir buharlı araba üretti. [Day ve McNeil, s. 183 – 184].

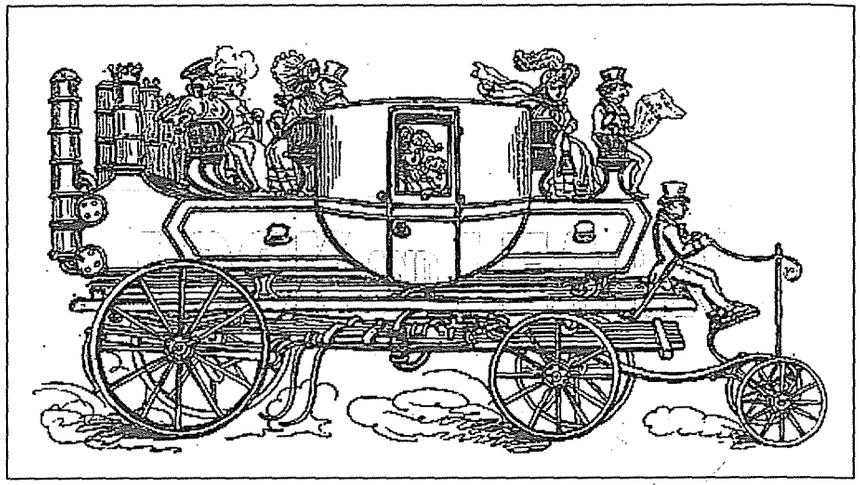


Şekil – 10.105: İngiliz David Gordon tarafından 1824'de patenti alınan ve ayaklar üzerinde ilerleyen "The Comet" adlı buharlı araba. [Briggs, s. 67].

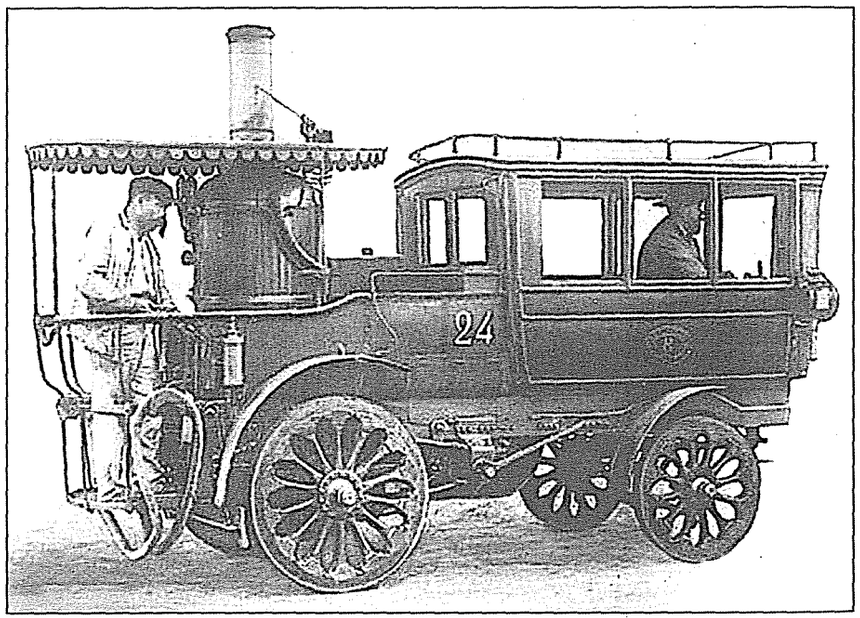
Şekil – 10.106: İngiliz cerrah, kimyacı ve mimar Goldsworthy Gurney. (1793 – 1875).



Şekil – 10.107: Goldsworthy Gurney tarafından 1825'de patenti alınan buharlı araba. [Kirby, s. 271].



Şekil – 10.108: Goldsworthy Gurney'in yeni arabası 6 Aralık 1827'de Regent's Park'da bir gezinti yapmıştır. [*Observer*, 9 Aralık 1827].

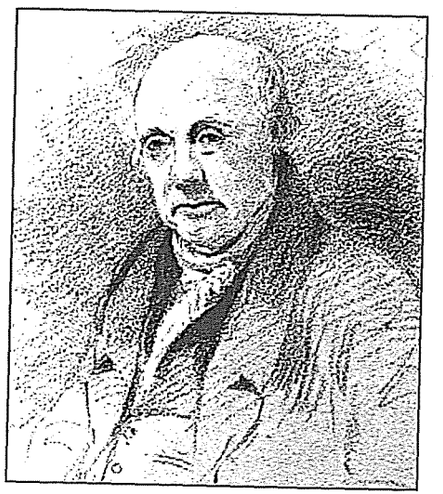


Şekil – 10.109: Fransa'da 1875 – 1881 yılları arasında çeşitli buharlı arabalar üretmiş olan Amédée Ernest Bollée (1844 – 1917) tarafından 1880'de yapılmış olan *La Nouvelle* adlı buharlı araba.

BUHARLI GEMİLER

İlk buharlı yani buhar makinesi ile hareket eden gemiler her iki yanlarında bulunan su çarkına benzer birer büyük çark yardımıyla hareket ediyorlardı. Bu nedenle bunlara Türkçede *yandan çarklı gemi* ve gemilerde bunların makinelerini çalıştıranlara da *çarkçı* adı verilmiştir.[8]

İlk buharlı gemi Edinburgh'lu banker Patrick Miller'in desteği ile mühendis William Symington (1764 – 1831) (Şekil – 10.110) tarafından 1787 – 1788'de yapılmış olmakla birlikte deneysel aşamada kaldı. (Şekil – 10.111). Bu gemide çarklar kanalların kenarlarına zarar vermemesi için yanlarda olmayıp teknenin içine yerleştirilmişti.

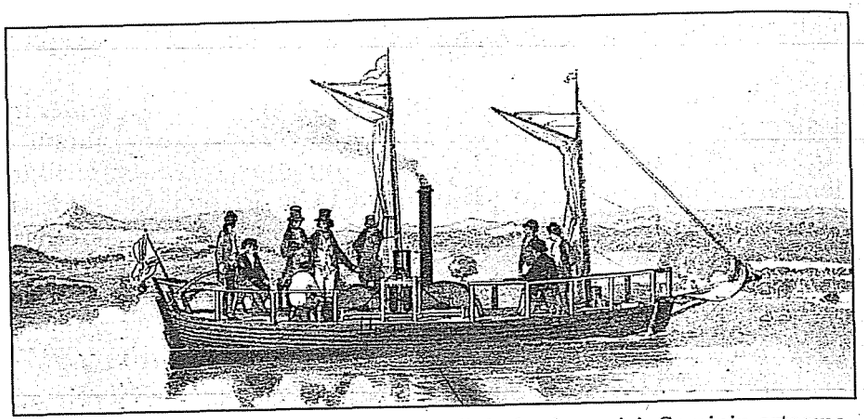


Şekil – 10.110: William Symington. (1764 – 1831).

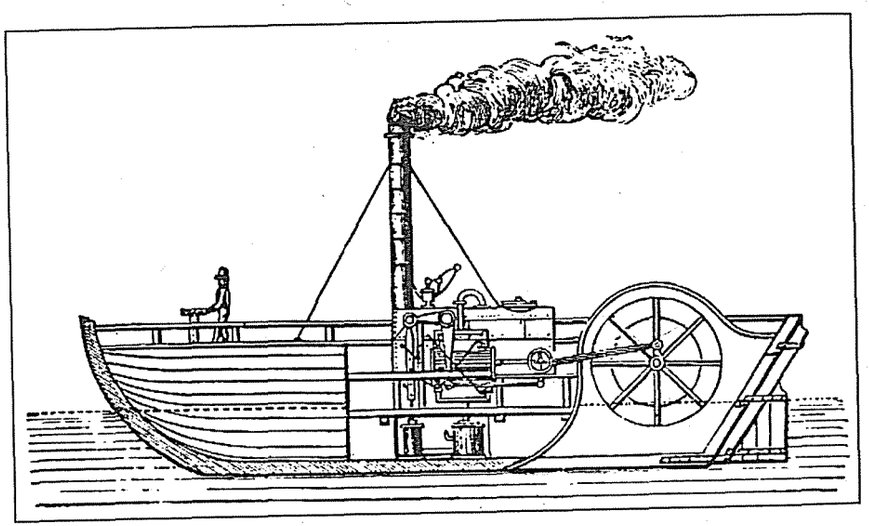
William Symington 1801'de yatay silindirli ve krank – biyel sistemi ile döner haremet veren bir buhar makinesinin patentini aldı. Buharlı bir kanal romorkörü yapma konusundaki daha önceki başarısız girişimlere ilgi duyan Forth and Clyde Kanal Şirketi'nin yöneticisi olan Lord

8 Yandan çarklı gemiler ortadan kalktıktan sonra da bu terim uzun süre kullanılmış olup günümüzdeki karşılığı "gemi makineleri işletme mühendisi"dir.

Dundas'ın ilgisini çekti. Symington Lord Dundas'ın desteği ile buharlı bir romorkör yaptı. Ahşap teknesi John Allan ve 10 HP gücündeki buhar makinesi de Carron Co. tarafından inşa edilen bu romorköre Lord Dundas'ın kızı Lady Charlottte Dundas'ın adı verildi. (Şekil – 10.112).



Şekil – 10.111: William Symington'un ilk buharlı gemisi. Geminin ortasına yerleştirilmiş olan çarkların davlumbazları görülmektedir. [Figiuer, s. 214].



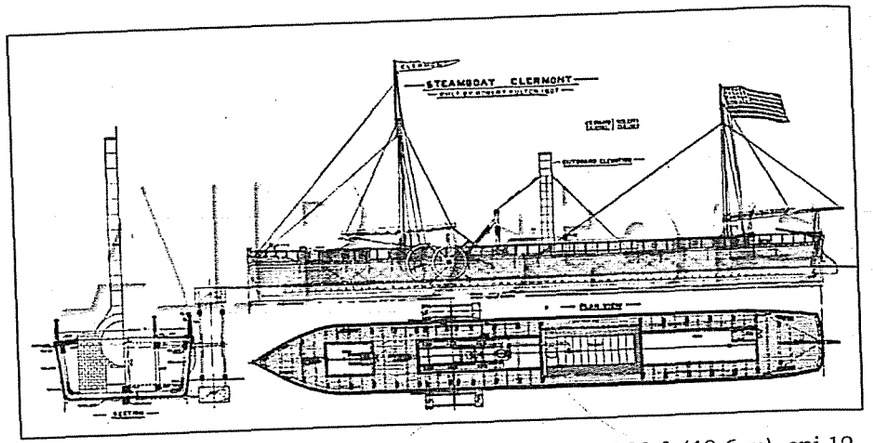
Şekil – 10.112: *Charlotte Dundas*'ın kesiti. Boyu 56 ft (17,1 m), eni 18 ft (5,5 m) ve derinliği 8 ft (2,4 m)'dir. Bir tane olan çark teknenin içinde ve ortasında yer almıştır. Çarkın her iki yanında birbirine bağlı olup birlikte hareket edebilen iki tane dümen vardır ve bunlar teknenin her iki yanından birer zincirle baştaki dümen dolabına bağlanmıştır.

Charlotte Dundas'ın ilk denemesi 4 Ocak 1803 günü Forth and Clyde Kanalı'nda yapıldı ve iki tane 70 tonluk mavunayı 19,5 mil (35,5 km) uzaklıktaki Glasgow'a altı saatte ortalama 3,35 mil/h (5,9 km/h) hızla çekerek götürdü. Ancak, kanal şirketleri çarkın yaratacağı dalganin kanal duvarlarına zarar veeceğini ilere sürerek çalışmsını engellediler Kendi haline terk edilen *Charlotte Dundas* 1861'de söküldü.

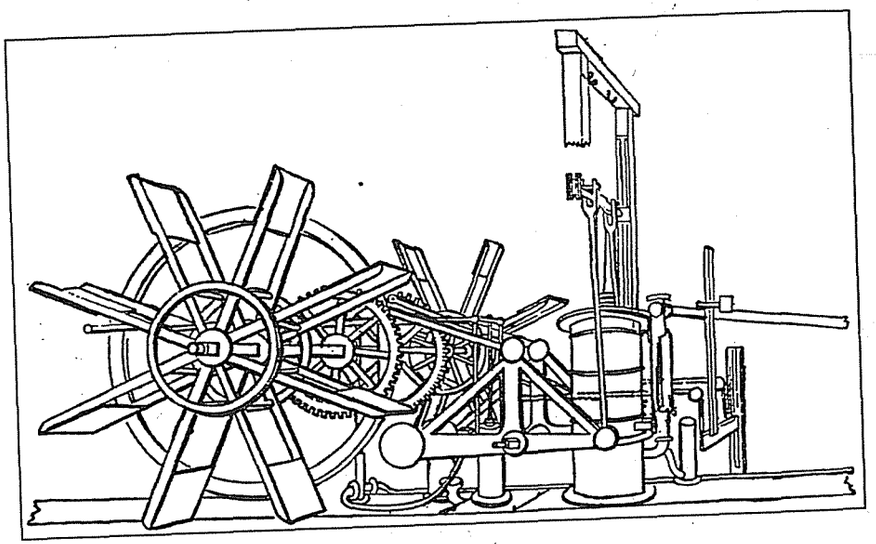
İlk kullanışlı buharlı gemi olan *Clermont* Amerikalı Robert Fulton (1765 – 1815)[9] (Şekil – 10.113) tarafından 1807'de gerçekleştirildi. Makinesi İngiltere'de yapılmış olan gemi New York ile Albany arasında çalıştı. (Şekil – 10.114 — 10.120).

Şekil – 10.113: Robert Fulton (1765 – 1815). [Matschloss, s. 131].

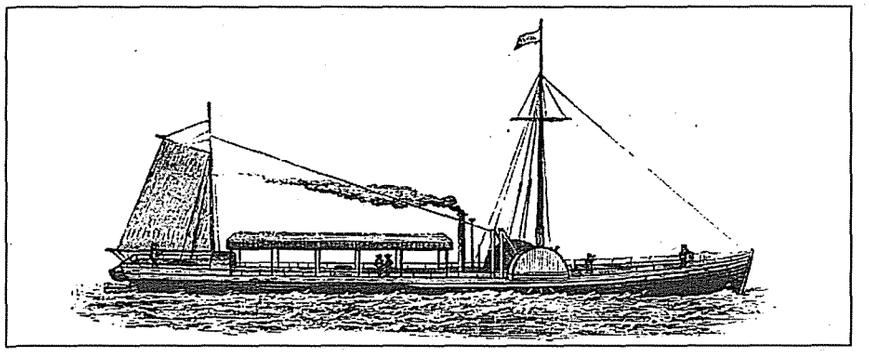
9 *Robert Fulton (1765 – 1815):* Amerika'da ressamlık yaparken 1787'de İngiltere'ye ve 1797'de Paris'e gitti. 1801'de su altında üç saat kalabilen ve pervanesi insan gücüyle çalıştırılan *Nautilus* adlı bir denizaltı yaptı fakat bir savaş aracı olarak başarılı olamadı. 1803'de 20 m boyunda bir gemi yapıp bununla 8 mil/h (7,2 km/h) bir hıza ulaştı ise de geminin makinesi yetersiz kaldı. İngiltere'ye güçlü bir buhar makinesi ısmarladı ve Amerika'ya dönerek 1807'de 45 m boyunda ve 100 tonluk *Clermont* adını verdiği gemiyi inşa ettirerek Hudson nehrinde başarılı seferler yaptı. Daha sonra başka buharlı gemiler de yaptı ve 1814'de ilk buharlı savaş gemisi olan *Demolgos* adlı ilk buharlı savaş gemisini inşa etti. Fulton'un gemisi ilk buharlı gemi değildi. 1787'de Amerika'da William Henry ve John Fitch tarafından bir buharlı gemi yapılarak çalıştırılmış ve İngiltere'de de 1803'de Charlotte Dundas inşa edilerek başarılı bir biçimde kullanılmıştı. [Day ve McNeil, s. 276; Feldman ve Ford, s. 96 – 97].



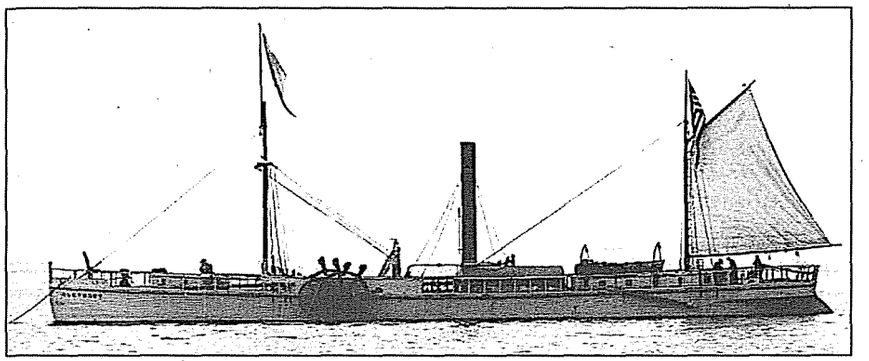
Şekil – 10.114: *Clermont*'un planları. Geminin boyu 133 ft (40,6 m), eni 12 ft (3,7 m) ve su çekimi 2 ft (0,6 m)'dir.



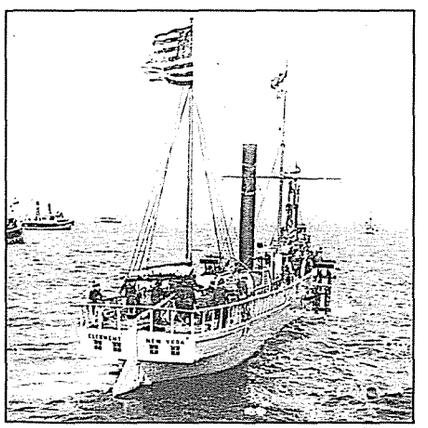
Şekil – 10.115: *Clermont*'un İngiltere'de Boulton & Watt firması tarafından yapılmış olan makinesi. Makinenin 4 ft (122 cm) hareketli 24 inch (60,96 cm) çapında bir silindiri vardı ve çarkların çapı 15 ft (457,5 cm) idi. [Derry ve Williams, s. 328].



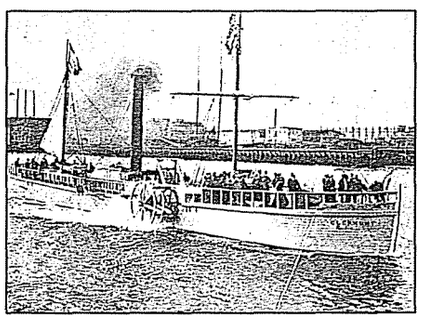
Şekil – 10.116: *Clermont* seyir halinde.



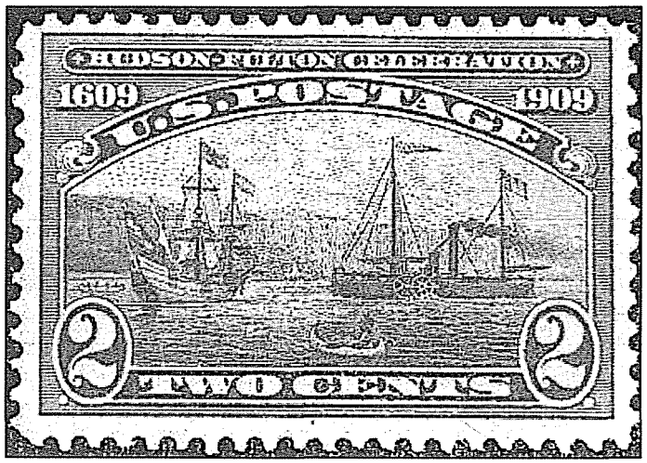
Şekil – 10.117: *Clermont*'un 1908'de yapılan replikasının yandan görünüşü.



Şekil – 10.118: *Clermont*'un 1908'de yapılan replikası seyir halinde.

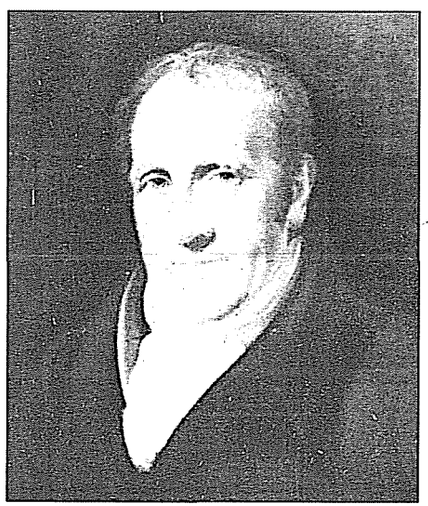


Şekil – 10.119: *Clermont*'un replikası: "İlk defa imal edilen buharlı vapurun numunesi." [*Resimli Kitap*, 3 (16), 241 (Kânun-ı sani 1325/1910)].

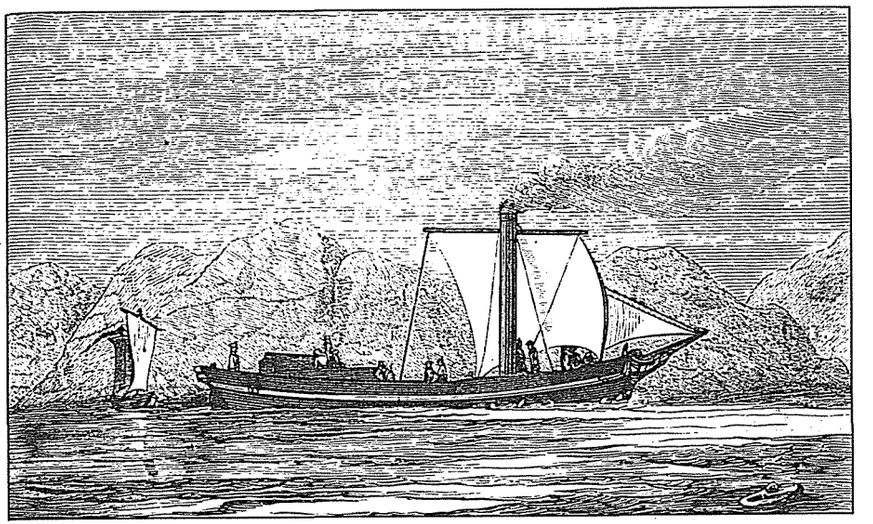


Şekil – 10.120: Hudson Nehri'nin keşfinin 300. ve *Clermont*'un 100. yılı için çıkartılmış Amerikan posta pulu.

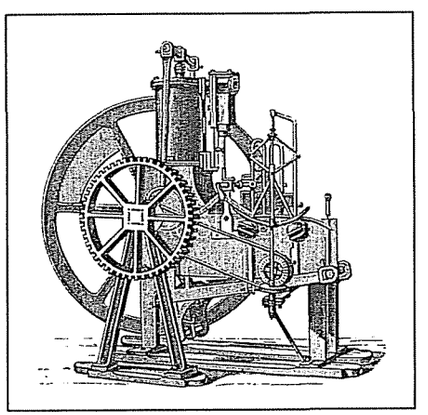
Avrupa'daki gerçek anlamdaki yani ticari açıdan başarılı ve kullanılabilir nitelikte olan ilk buharlı gemi 1812'de İngiltere'de Clyde'da hizmete girdi. Henry Bell (1767 – 1830) (Şekil – 10.121) tarafından yapılmış olan ve *Comet* adı verilen bu gemide yer kazanmak için buhar makinesi ile buhar kazanı yanyana yerleştirilmişti. (Şekil – 10.122, 10.123, 10.124 ve 10.125).



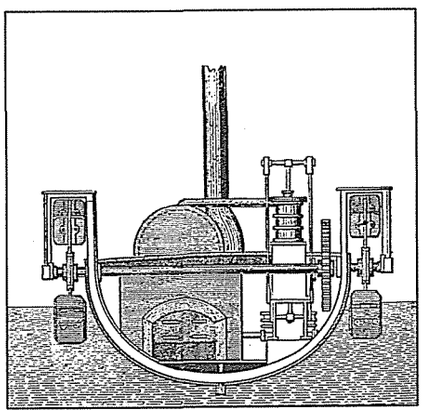
Şekil – 10.121: Henry Bell. (1767 – 1830).



Şekil – 10.122: Avrupa'daki ilk gerçek buharlı gemi olan *Comet*. [Figiuer, s. 217].

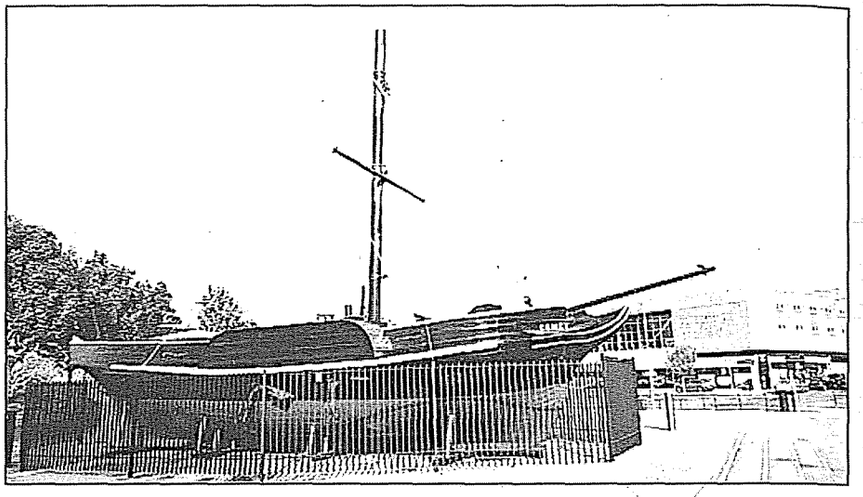


Şekil – 10.123: Comet için Glasgow'da yapılmış olan düşük basınçlı buhar makinesi. [Derry ve Williams, s. 329].



Şekil – 10.124: *Comet*'in kesiti. Buhar makinesi ile kazanın yer kazanmak içinyan yana yerleştirilmiş olduğu görülmektedir.

Comet'in bir replikası yapılmış olup Glasgow limanında karada sergilenmektedir. (Şekil – 10.125).

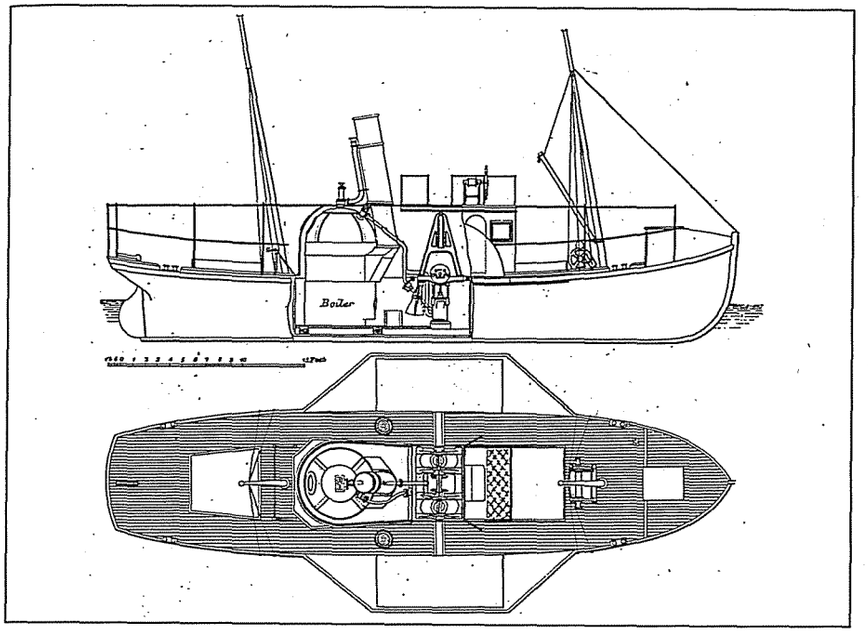


Şekil – 10.125: *Comet*'in soradan yapılmış olan ve Glasgow limanında sergilenen replikası.

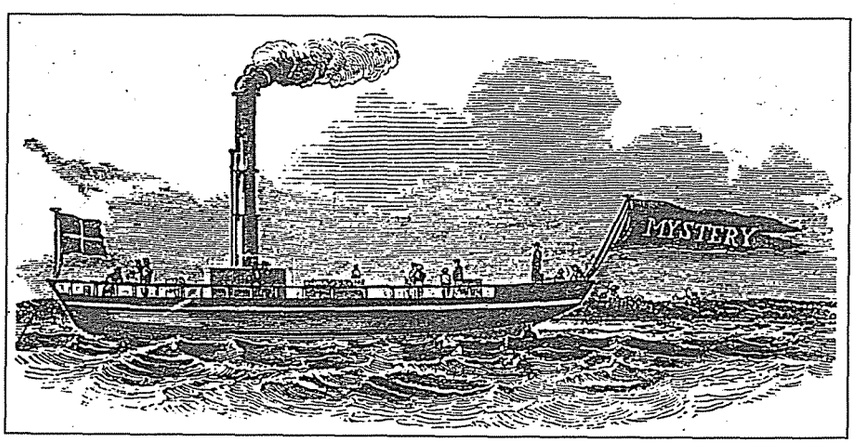
Bu öncü buharlı gemilerin ardından buharlı gemi sayısı hızla artmaya ve gemilerin boyutları da büyümeye başlamıştır. İlk gemilere baktığımızda bunlardan *Charlotte Dundas* dışındakilerin tümünün aynı zamanda yelkenlerinin de olduğu görülür. Yelkenin buharın yanında varlığını südürmesi 1890'lı yıllara kadar sürmüştür. Yelkenler buhar makinesinin arızalanması veya kömürün bitmesi gibi durumlara karşı bir yedek olduğu gibi buharla yürüyen gemilerin hızları oldukça düşük olduğundan uygun rüzgârda buhar makinesinin yanında yelken de açarak hızı arttırmak da söz konusudur. (Şekil – 10.126, 10.127, 10.128 ve 10.29).

Başlangıçta düşük hız sağlayan ve fazla enerji gerektiren yan çarklar kullanılırken yavaş yavaş daha verimli olan pervaneye geçiş oldu. Buharlı gemiler aynı zamanda kendi yakacakları kömürü de taşıdıklarından geminin önemli bir bölümünün kömür deposu olarak ayrılması söz konusuydu. Gemilerde hem taşıma maliyetini azaltmak ve hem de yer kazanmak için kömürden tasarruf amacıyla çoklu genleşmeli ve daha yüksek verimli makinelerin kullanılması yoluna gidildi. Bütün bunlara karşılık pistonlu buhar makineleri ile elde edilebilecek hız sınırlı olduğundan hızlı gemiler ancak XIX. yüzyılın sonlarında buhar türbininin bulunmasından

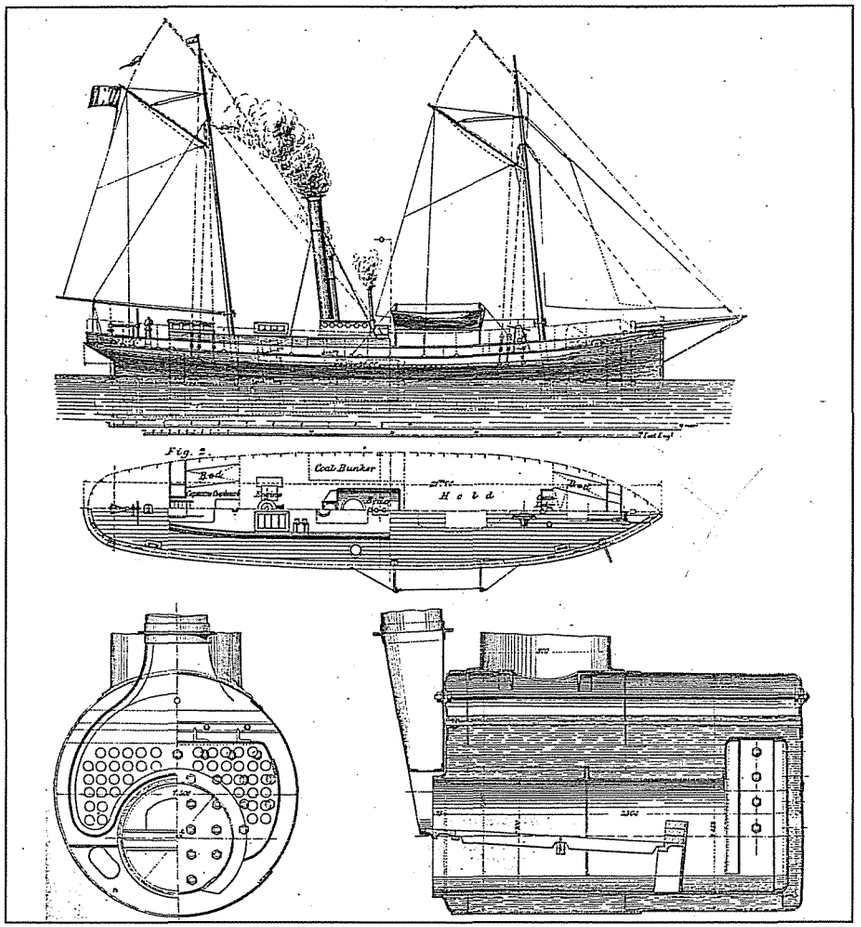
sonra ortaya çıktı. Buhar türbinlerinin kullanımı özellikle yüksek hızın önem taşıdığı savaş gemilerinde hızla yaygınlaştı.



Şekil – 10.126: Küçük bir yandan çarklı gemi olan *Mavuna*'nın planı. Boyu 55 ft (16,775 m), eni 12 ft 6 inch (3,81 m), derinliği 5 ft 5 inch (1,65 m) ve su çekeri 3 ft 3 inch (0,99 m) dir.



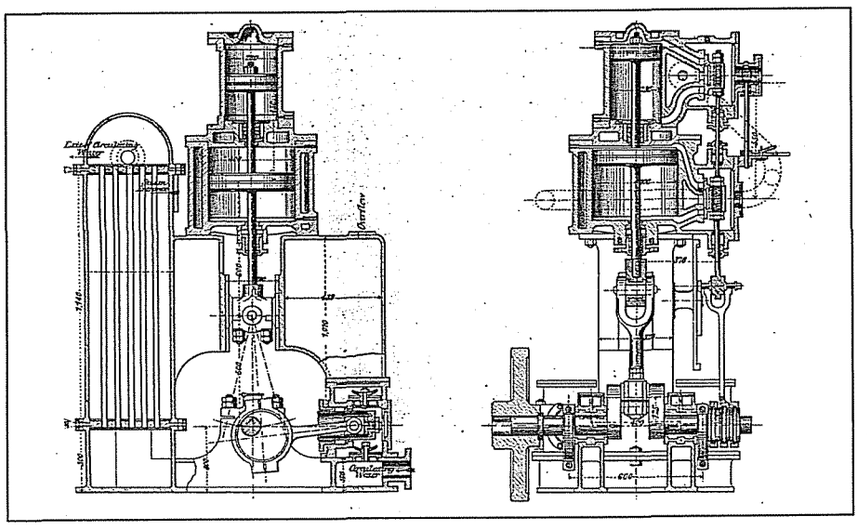
Şekil – 10.127: Pervaneli gemilerin ilk örneklerinden olan *Mystery* adlı gezi gemisi.



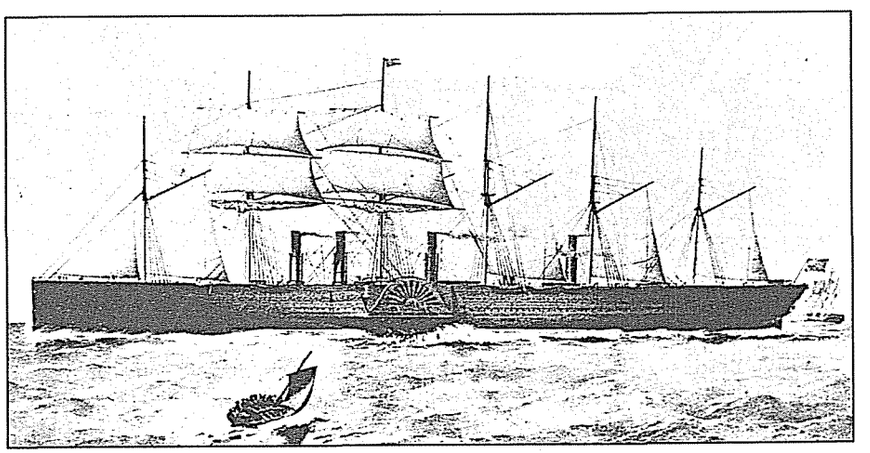
Şekil – 10.128: Pervaneli bir açıkdeniz balıkçı teknesi ile buhar kazanı.

Çok büyük ilk buharlı gemi olan *Great Eastern* adlı geminin yapımına 1854'de başlandı ve 1858'de denizi indirildi. 30 Ağustos 1859'da ilk seferine çıkan gemi otuz yıl sonra 1889'da servis dışı bırakıldı. O güne kadar inşa edilen en büyük ve demir gemi olan *Great Eastern* dönemin ünlü mühendisi Isambard Kingdom Brunel (1806 – 1859) tarafından yapıldı. (Şekil – 10.130, 10.131 ve 10.132). 132.160 tonluk bu geminin boyu 211 m, eni 25 m ve hızı 14 knot (26 km/h) dir. Gemi yandan çarklı olmakla birlikte aynı zamanda

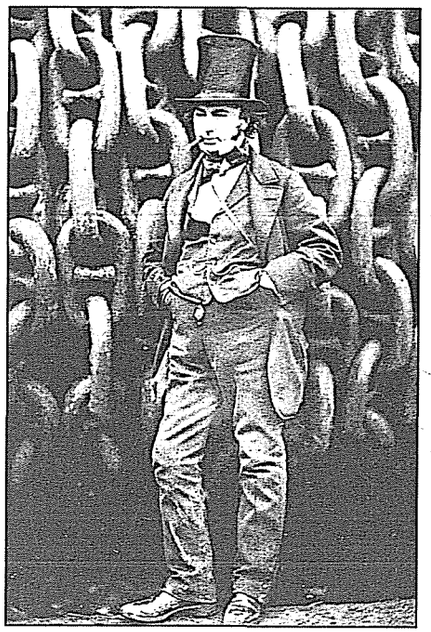
bir tane de pervanesi vardı. Çarklar için dört ve pervane için de bir olmak üzere toplam beş buhar makinisinin toplam gücü 8.000 HP düzeyindeydi. Toplam 418 kamara içeren ve 4.000 yolcu kapasiteli bu gemi Atlantik ötesi yolcu taşımacılığı yaptığı gibi Avrupa'yı Amerika'ya bağlayan Atlantik altı telgraf kablosunun döşenmesi için de kullanılmıştır.



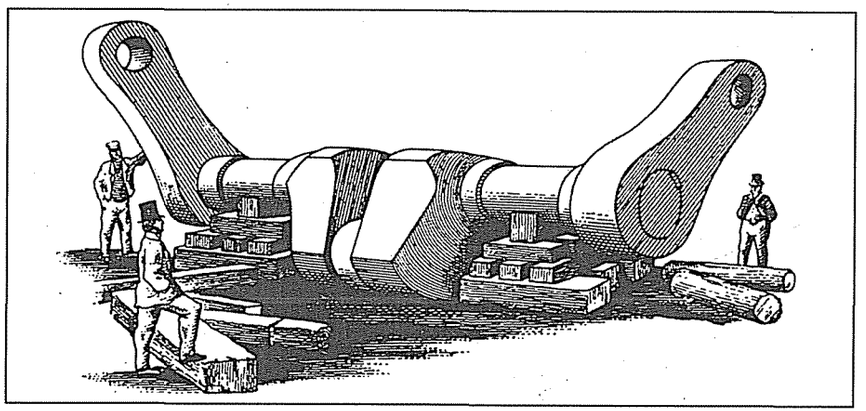
Şekil – 10.129: (Şekil – 10.128)'deki pervaneli açıkdeniz balıkçı teknesinin çift genleşmeli ardışık silindirli buhar makinesi.



Şekil – 8.130: *Great Eastern* seyir halinde. Gemi çark ve pervanesine ek olarak yelkenlerini de kullanmaktadır.



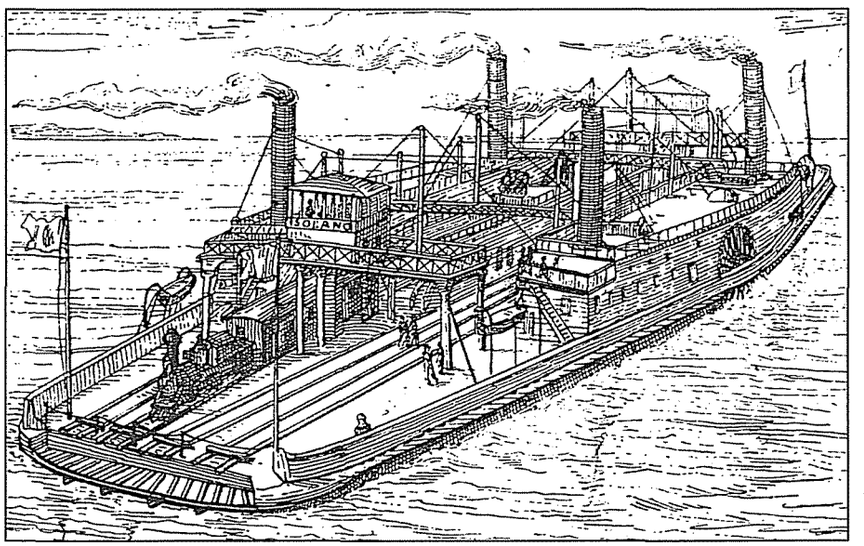
Şekil – 10.131: *Great Eastern*'i tasarlayan mühendis Isambard Kingdom Brunel, (1806 – 1859).



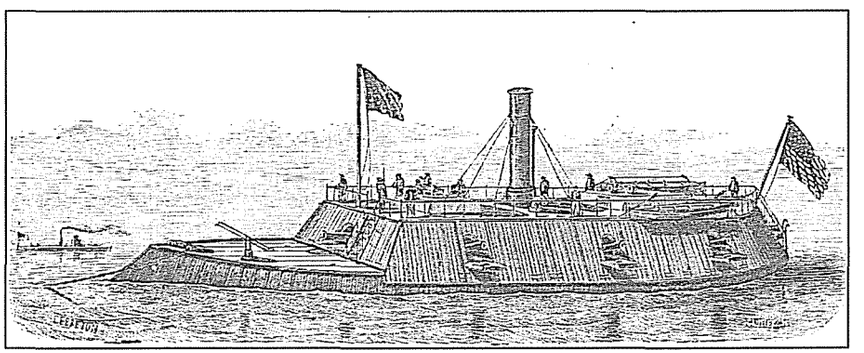
Şekil – 10.132: *Great Eastern*'in çark makinelerinin şaftı. [Derry ve Williams, s. 373].

Bütün gemiler başlangıçta geleneksel olarak ahşaptan yapılırken XIX. yüzyılda demir ve çeliğin bollaşarak ucuzlaması üzerine demirden yapılmaya başlanmıştır. Ahşap

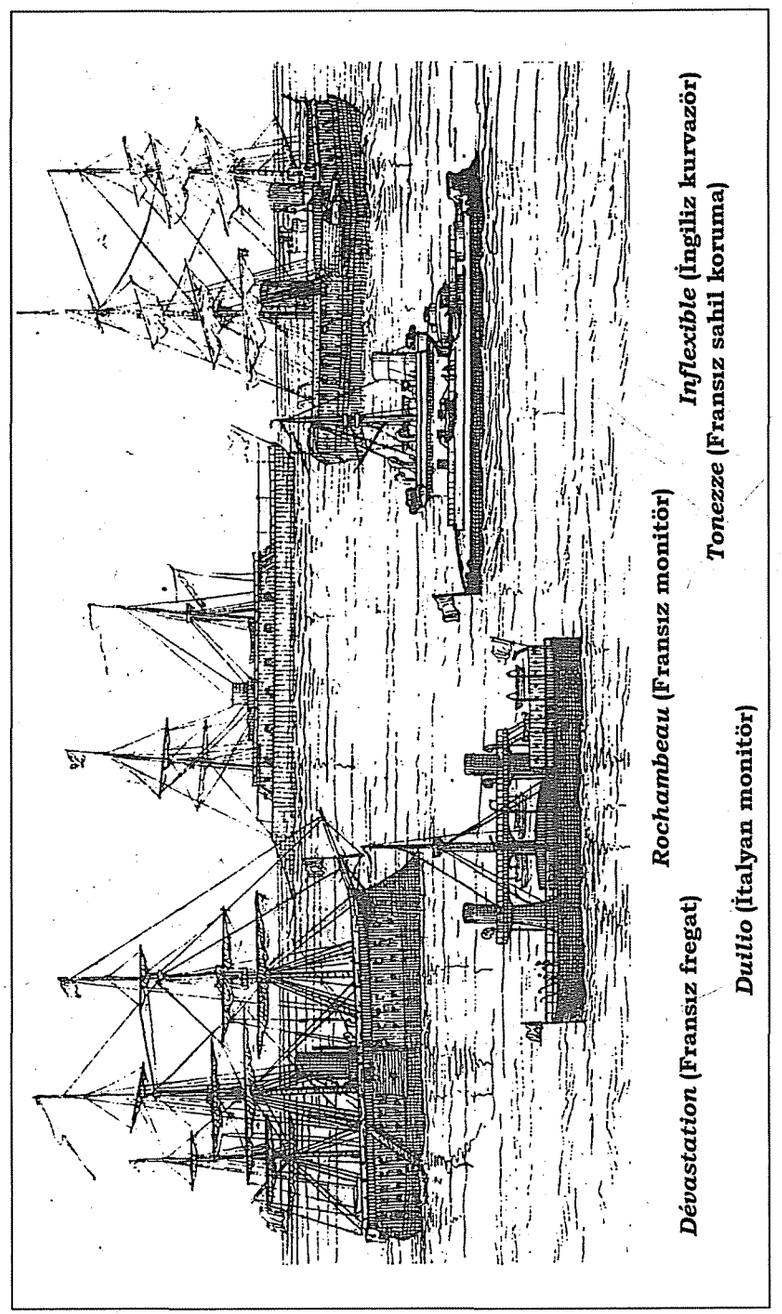
savaş gemilerinin önce dışları demir levhalarla kaplanarak zırhlı hale getirilmiş ve bu aşamanın ardından demirden ihşa edilerek dışları giderek kalınlaşan çelik zırh levhaları ile kaplanmaya başlanmıştır.(Şekil – 10.134 ve 10.135).



Şekil – 10.133: Amerika'da Sacramento körfezinde trenleri taşımak için kullanılan *Solana* adlı feribot. (1880'ler). [Bory, s. 193].



Şekil – 10.134: Amerikan İç Savaşı döneminde yapılmış olan Konfederasyon gemisi *Virginia*. [Bory, s. 197]. Geminin boyu 275 ft (83,8 m), eni 51 ft 2 inch (15,6 m), derinliği 21 ft (6,4 m) olup mürettebatı 320 kişidir. Tek pervaneli olup 4 buhar kazanı ile toplam 1.200 HP gücünde iki tane yatay buhar makinesi vardır ve hızı 5,8 – 6,9 mil/h (9,3 - 11,1 km/h)'dir. Zırh kalınlığı yanlarda 25 – 76 mm, güvertede 25 mm ve kazamatta 102 mm dir, Gemi 17 Şubat 1862'de hizmete girmiş ve 11 Mayıs 1862'de batırılmıştır.

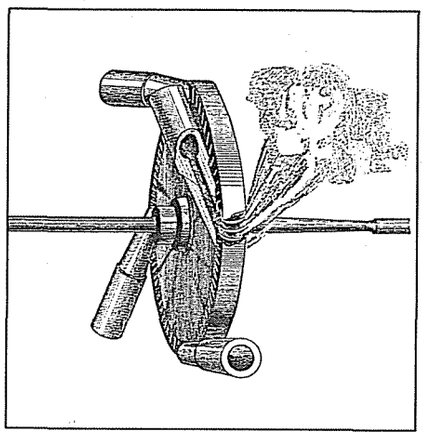


Şekil – 10.135: Yelkenli buharlılardan tam buharlılara geçiş dönemine ilişkin çeşitli ülkelerin savaş gemilerinden örnekler. (1880'ler). [Bory, s. 195].

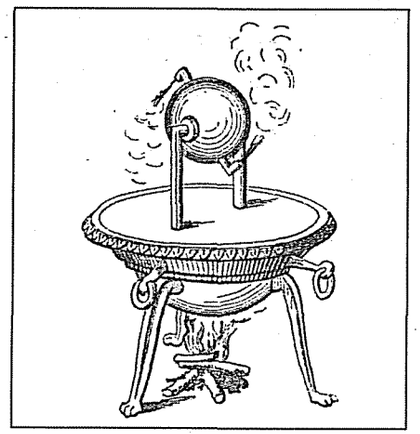
BUHAR TÜRBİNLERİ

Buhar türbinleri

Buhar türbininin temel ilkesi kanatlı bir çark üzerine basınçlı buhar üflenerek bu çarkın döndürülmesine dayanır. (Şekil – 10.136). İskenderiyeli Heron (İ.S. I. yüzyıl) tarafından yapılan buharla dönen top da bir tür buhar türbinidir. (Şekil – 10.137). Gerçek anlamda bir buhar türbininin tasarımı ilk kez İtalyan mimar ve mühendis Giovanni de Branca (1571 – 1640) tarafından 1629'da Roma'da yayınlanan *Le Machine* adlı kitapta verilmiştir. (Şekil – 10.138, 10.139, 10.140 ve 10.141).

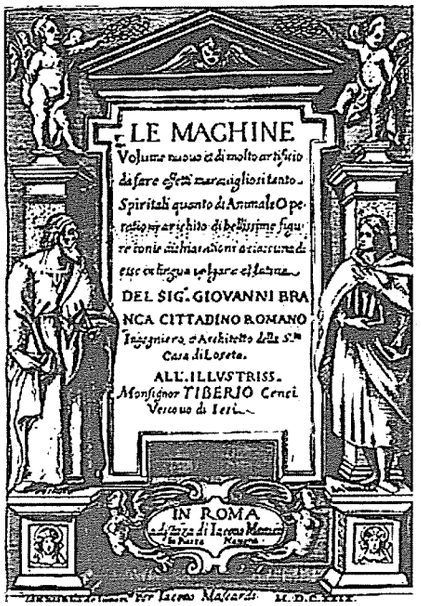


Şekil – 10.136: Bir impuls buhar türbininin çalışma biçimi. [Grunmach ve Rosenboom, s. 740]

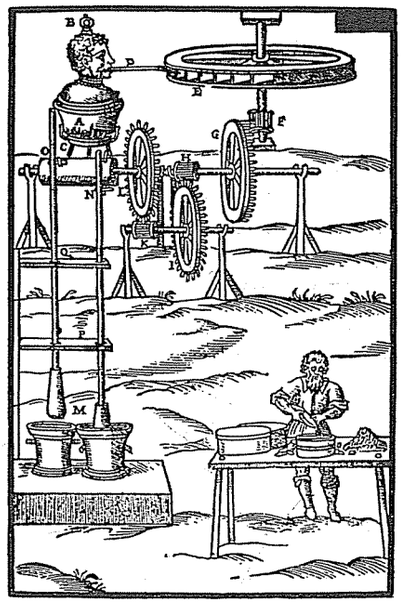


Şekil – 10.137: İskenderiyeli Heron'un impuls etkisiyle dönen buharlı küreden oluşan türbini. [Usher, s. 392].

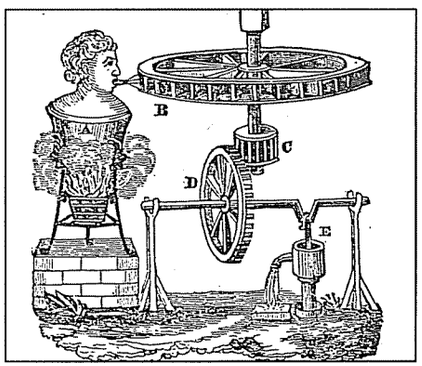
XIX. yüzyılın sonlarına doğru pistonlu buhar makinesine göre verimi çok daha yüksek olan buhar türbinlerinin yapımı gündeme gelmiş ve yirmi yıllık bir süre içinde dört ana tip buhar türbini ortaya çıkmıştır. Bunlar, 1) Basit impuls türbini (De Laval, 1883), 2) Reaksiyon türbini (Parsons, 1894), 3) Hız bileşik impuls türbini (Curtis, 1896) ve 4) Basınç bileşik impuls türbini'dir (Rateau, 1900). Aşağıda bunlarla ilgili örnekler verilmiştir.



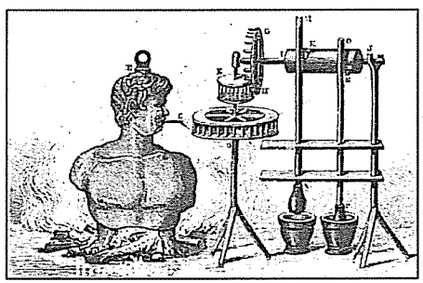
Şekil – 10.138: Giovanni de Branca'nın *Le Machine* adlı kitabının kapağı.



Şekil – 10.139: Branca'nın buhar türbini tasarımı. Metal bir (A) kabındaki su ateş üzerinde ısıtılarak buharlaştırılır, (D) den çıkan buharın basıncı (E) çarkını ve bu da dişliler yardımıyla havan ellerini çalıştırır. [Wolf, II, s. 546].



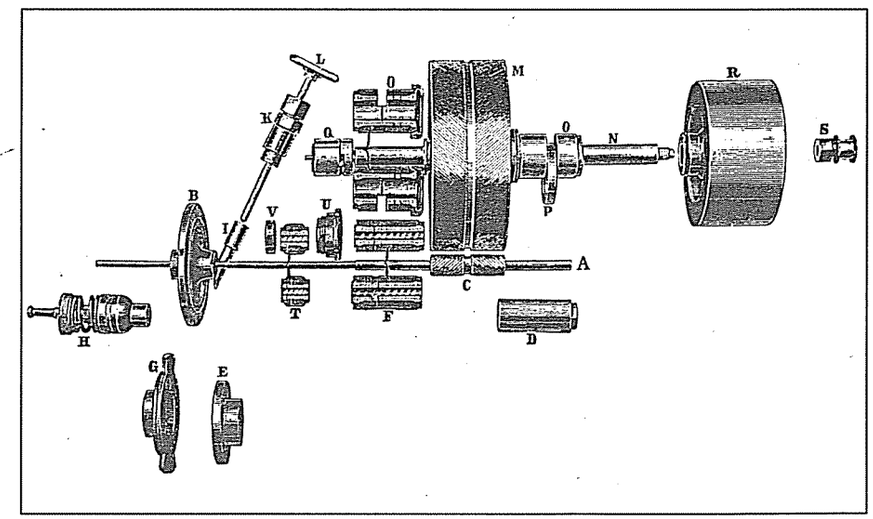
Şekil – 10.140: Giovanni de Branca'ya göre buhar türbini ile bir emme su tulumbasının çalıştırılması.



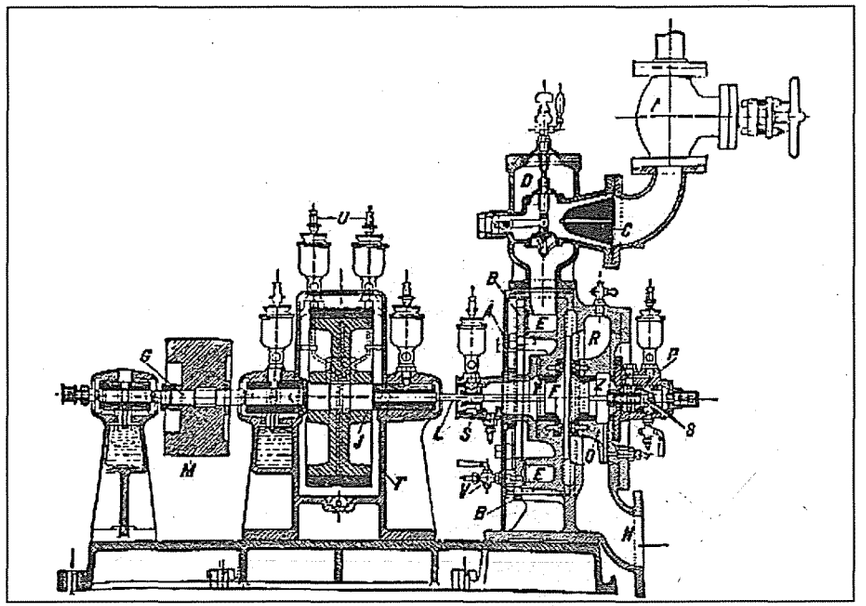
Şekil – 10.141: Giovanni de Branca'ya göre buhar türbini ile farklı bir mekanizma yardımıyla havan ellerinin çalıştırılması. [Usher, s. 392].

Carl Gustaf Patrik de Laval (1845 – 1913)

Şekil – 10.142: İsveçli mühendis Carl Gustaf Patrik de Laval. (1845 – 1913).



Şekil – 10.143: De Laval tarafından 1883'de yapılan impuls buhar türbininin parçaları. [Hills, s. 284].



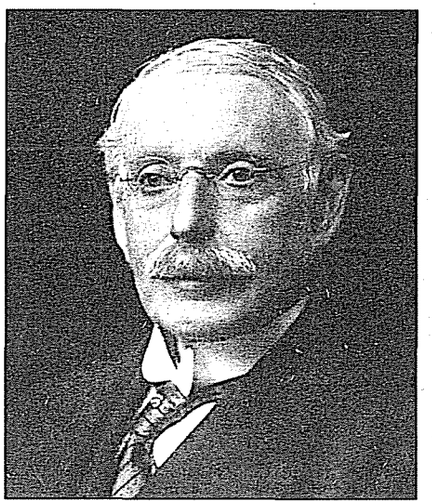
Şekil – 10.144: De Laval buhar türbininin gelişmiş bir biçimi.

Charles Algernon Parsons (1854 – 1931)

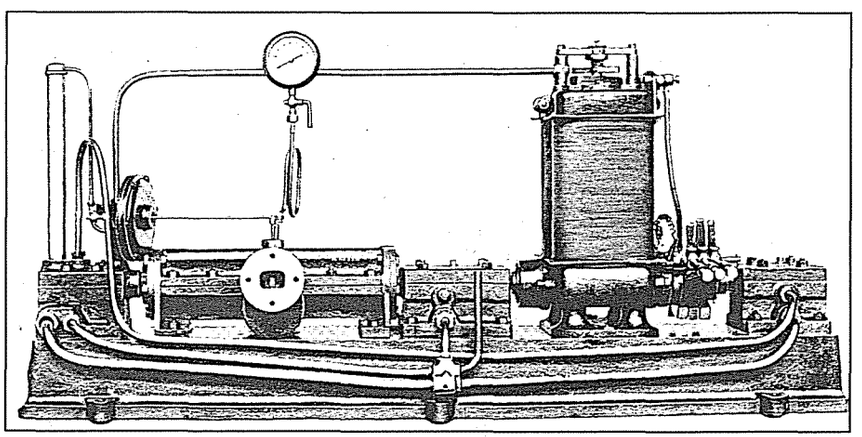
İngiliz mühendis Charles Algernon Parsons (1854 – 1931)[10] (Şekil – 1.145) buhar türbinini yapan ilk kişi

10 *Charles Algernon Parsons (1854 – 1931):* Soylu bir aileden gelen Parsons özel eğitim gördükten sonra Cambridge Üniversitesi'nde matematik ve mekanik öğrenimi gördü. Öğreniminin ardından 1877'de bir mühendislik firmasında çalışmaya başladı ve 1884'de elektrik üretimi ile ilgilenen bir şirkete ortak oldu. Elektrik üreteçleri buhar makineleri ile çevriliyor ve yüksek hızlara ulaşılamıyordu. Bu sorunu çözmek için aynı yıl kendi buhar türbinini yaparak 23 Nisan 1884'de patentini aldı. Daha önce de çeşitli türbinler yapılmış olmakla birlikte bunlar için bazı teknik üretim sorunları çözülemediğinden üretime geçilememişti. 1889'da ortaklarından ayrılarak kendi fabrikasını kurdu. 1900'den itibaren İngiltere'de elektrik jeneratörleri buhar türbinleri ile çalıştırılmaya başlandı. Parsons İngiliz donanmasına buhar türbininin gemilere uygulanmasını önermekle birlikte ilgi görmedi. Bunun üzerine1894'de *Turbinia* adlı bir gemi yaparak buna buhar türbinleri taktı. Bazı başarısız denemelerden sonra başarıya ulaştı. Buhar türbinini tanıtmak için 1897'de Kraliçe Victoria'nın Elmas Jübilesi onuruna yapılan donanma gösterisinde *Turbinia* ile gemilerin arasına daldı. Buhar türbini donanma tarafından hızla benimsenerek ilk türbinli savaş gemisi 1901'de denize

olmamakla birlikte buhar türbininin tanınması ve yayılmasında önemli bir yere sahiptir. (10.146 – 10.152).

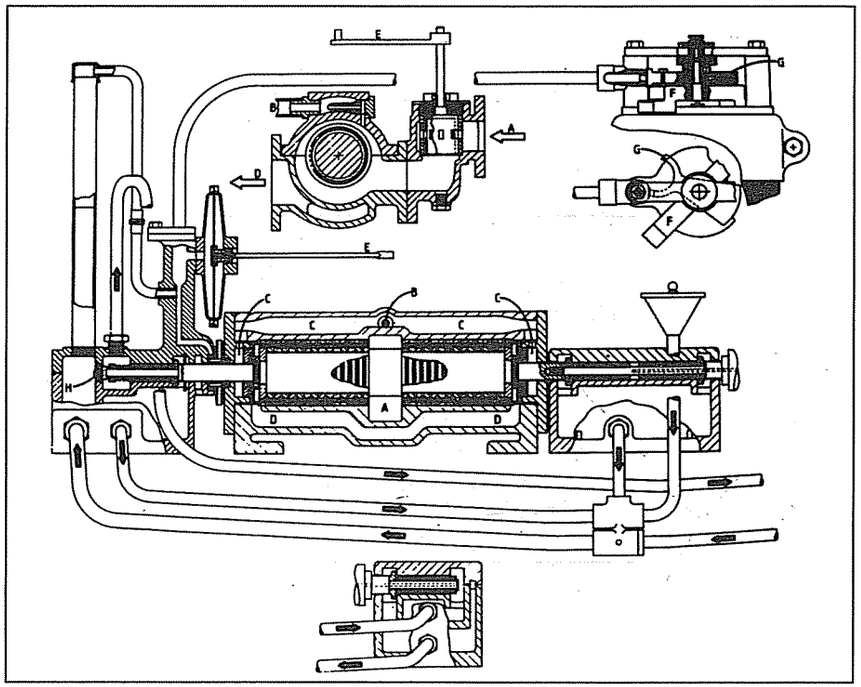


Şekil – 10.145: Charles Algernon Parsons. (1854 – 1931). [Matschloss, s. 273].

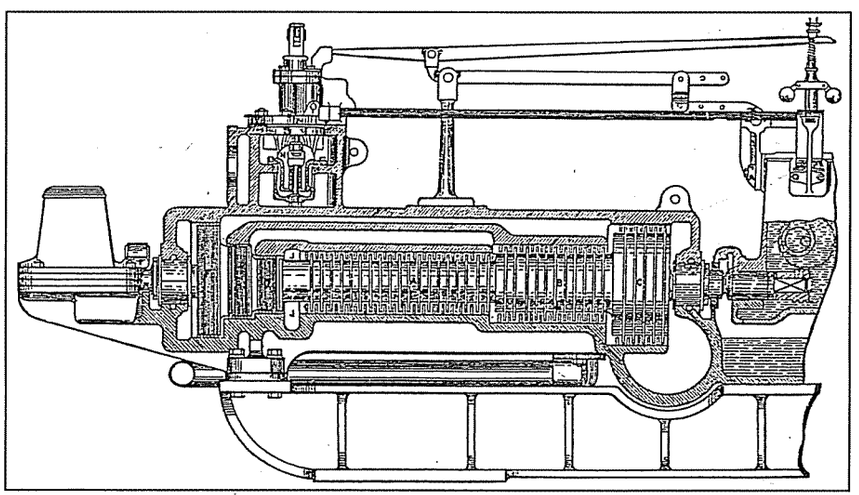


Şekil – 10.146: Parsons tarafından 1884'de yapılan buhar türbininin ilk biçimi (solda) ve buna bağlı bir elektrik jeneratörü (sağda). Bu sistem 5,5 bar basınçlı buhar ile çalışıp dakikada 18.000 devir yapıyor ve 4 – 7,5 kW enerji üretiyordu. [Lilley, Levha XIII].

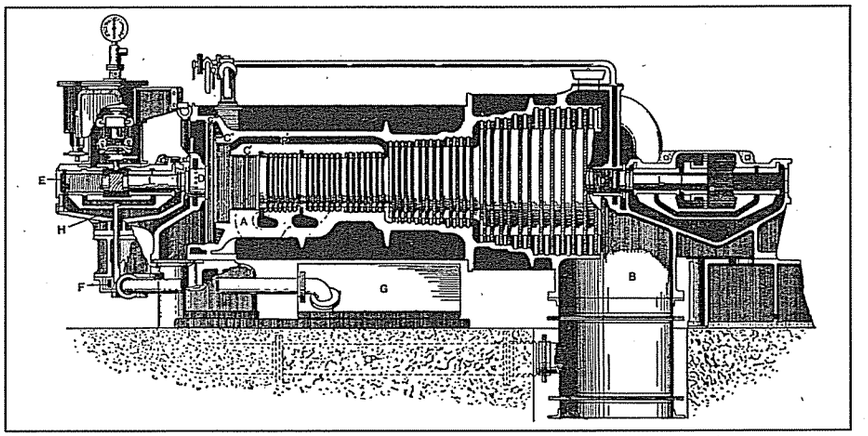
indirildi. Bundan sonra savaş ve yolcu gemileri arasında kullanımı hızla yaygınlaştı. [Day ve McNeil, s. 542 – 543; Feldman ve Ford, s. 224 – 225].



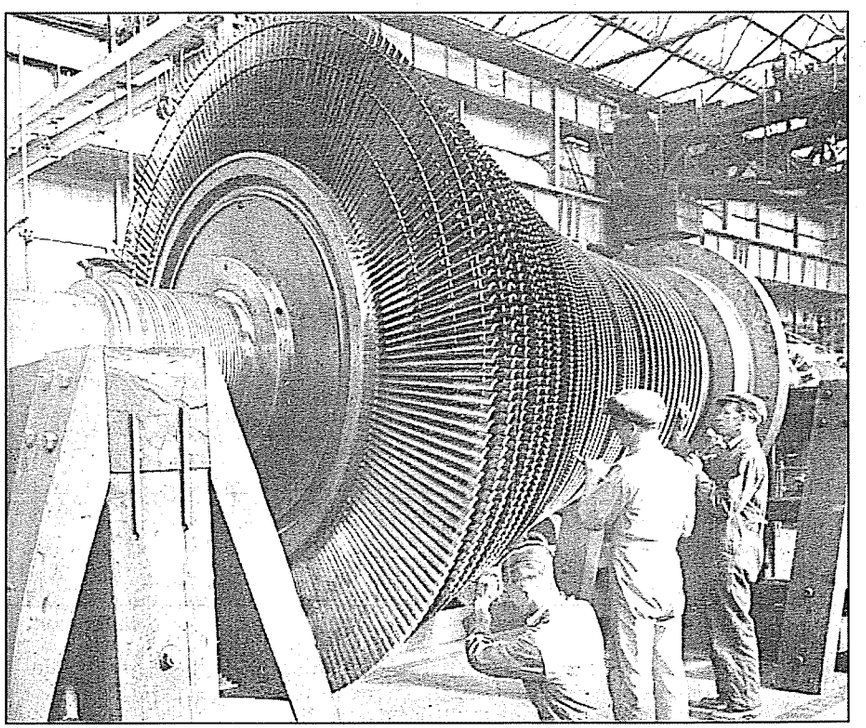
Şekil – 10.147: Parsons'un ilk türbininin kesiti. [Somerscales, s. 294].



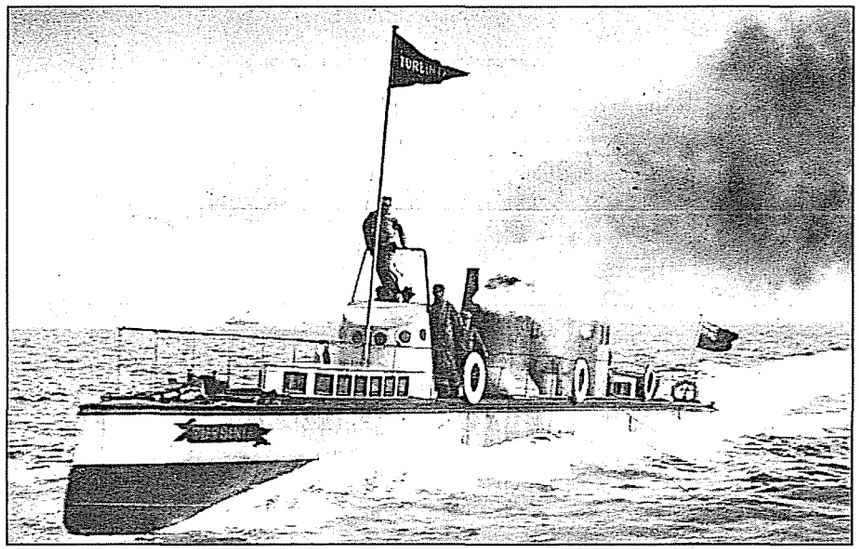
Şekil – 10.148: Erken dönem bir Parsons türbininin kesiti. [Hills, s. 282].



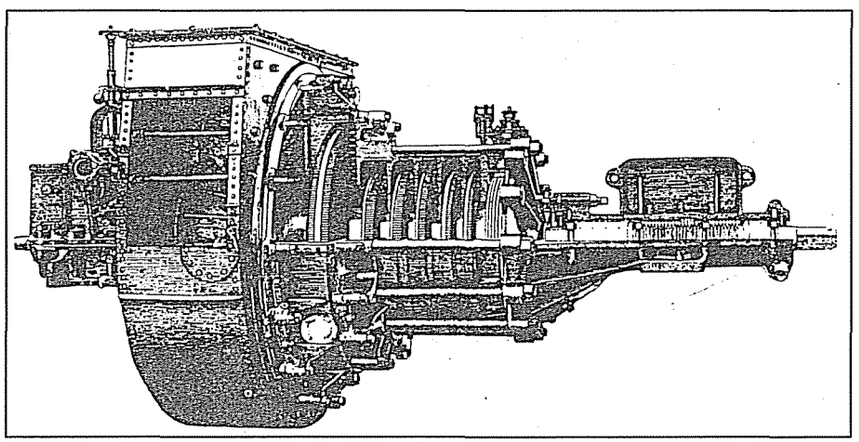
Şekil – 10.149: Gelişmiş bir Parsons buhar türbininin kesiti. [Usher, s. 393].



Şekil – 10.150: 70.000 HP gücündeki düşük basınçlı bir Parsons türbininin rotorunun yapılması. [Parsons, s. 26].



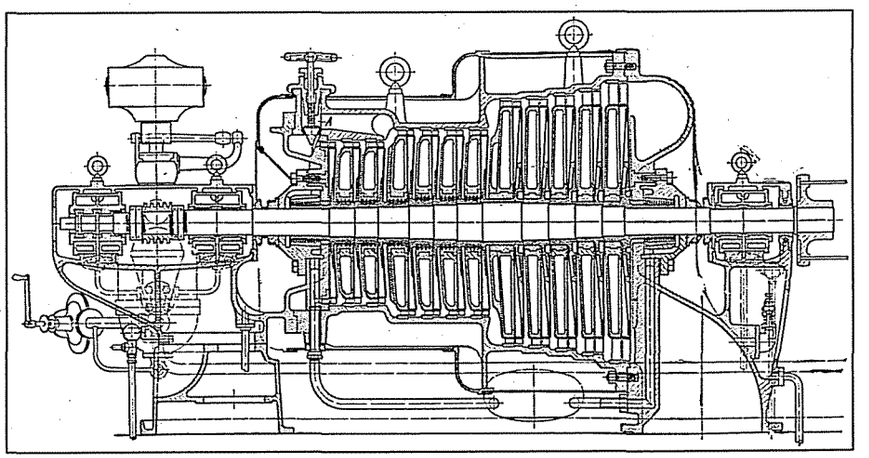
Şekil – 10.151: Parsons tarafından yapılan ve buhar türbini ile çalışan ilk gemi *Turbinia* tam yolla seyir halinde.(1897). 34,5 knot (63,9 km/h) hıza ulaşan bu gemide 2.000 HP gücünde radyal akışlı bir türbin ve üç tane pervane vardı. [Parsons, s. 27].



Şekil – 10.152: Parsons tarafından *Turbinia* adlı gemide kullanılan radial akışlı buhar türbini. (1894). [Derry ve Williams, s. 338].

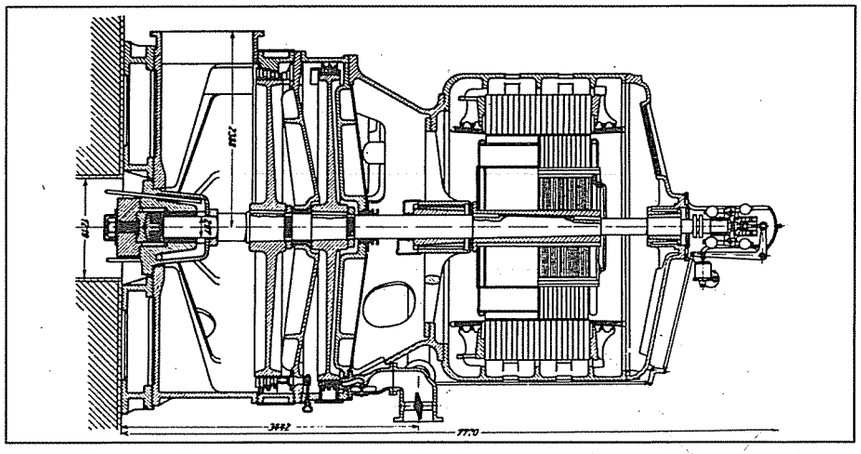
Auguste Camille Edmond Rateau (1863 – 1930)

Şekil – 10.153: Fransız mühendis Auguste Camille Edmond Rateau. (1863 – 1930).

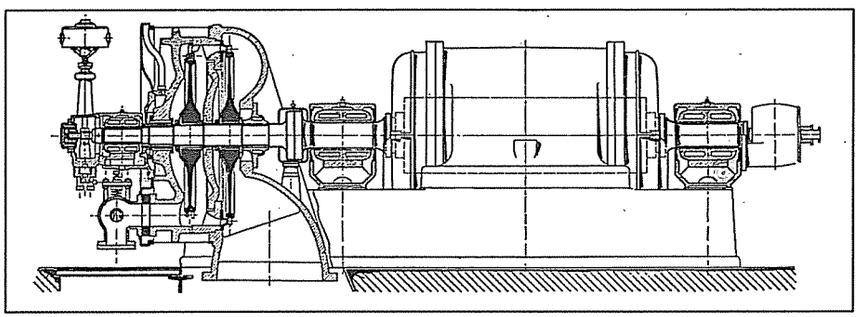


Şekil – 10.154: Bir Rateau buhar türbininin kesiti.

Charles Gordon Curtis (1860 – 1953)

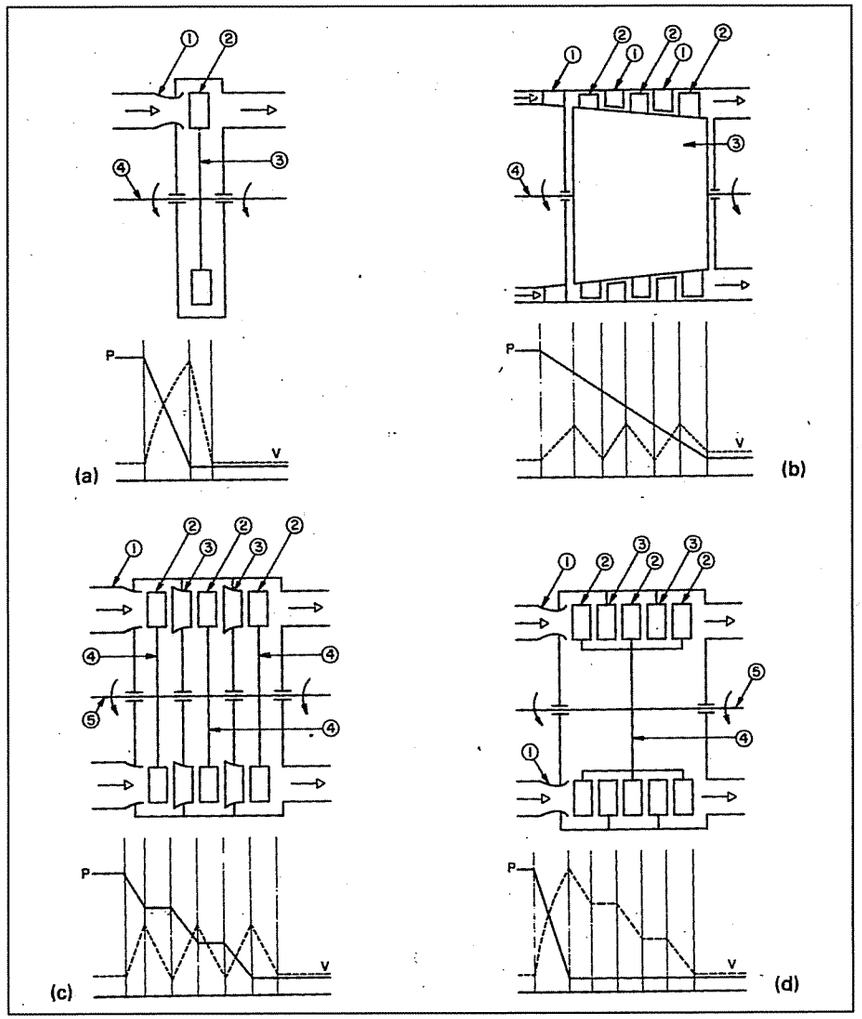


Şekil – 10.155: Amerikalı mühendis Curtis tarafından 1895'de yapılan buhar türbininin kesiti.



Şekil – 10.156: Bir Curtis buhar türbininin kesiti. General Electriç Co. tarafından 1903 de üretilmiş olan bu türbin 5.000 kW gücünde olup 11,9 bar (271 °C) buhar ile çalışmaktaydı. [Somerscales, s. 296].

Buhar türbinleri yapı olarak pistonlu makinelerden daha basıt olmaları, dönen rotor dışında hareketli parçalarının bulunmaması, kolaylıkla çok yüksek dönme hızlarına çıkabilmeleri, elektrik jeneratörlerine veya gemilerde pervane şaftlarına doğrudan bağlanabilmeleri nedeniyle büyük üstünlüğe sahiptirler. Günümüzde pistonlu buhar makineleri bütünüyle ortadan kalkmış olmakla birlikte gerek termik ve gerekse nükleer santrallerde yüksek basınçlı buhar elde edildiğinden bunlar buhar türbinleri ile çalışırlar.



Şekil – 10.157: Temel buhar türbini tiplerinin çalışma şemaları ve buharın türbinden geçişi sırasında basınç (P) ve hızının (V) değişimini gösteren diyagramlar. *(a) Basit impuls türbini (De Laval, 1883):* (1) sabit buhar üfleyiciler, (2) döner bıçaklar, (3) çark ve (4) dönen şaft. *(b) Reaksiyon türbini (Parsons, 1884):* (1) buhar üfleyiciler ve yönlendirme vanaları, (2) döner bıçaklar, (3) döner silindir ve (4) döner şaft. *(c) Basınç birleştirilmiş impuls türbini (Rateau, 1900):* (1) buhar üfleyiciler, (2) döner bıçaklar, (3) diyaframdaki üfleyiciler, (4) dönen çarklar ve (5) dönen şaft. *(d) Hız birleştirilmiş impuls türbini (Curtis, 1896):* (1) buhar üfleyiciler, (2) dönen bıçaklar, (3) sabit parçalar, (4) dönen çarklar ve (5) dönen şaft. [Somerscales, s. 292].

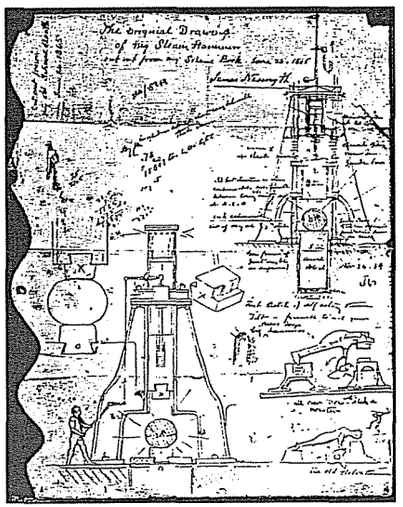
BUHARLI ÇEKİÇLER

Buharlı çekiç düşey konumda bulunan bir silindirin piston koluna doğrudan bağlanmış bir çekiç başından oluşur. Silindire basınçlı buhar verildiğinde piston yukarı doğru hareket ederken çekiç de yukarı kalkar ve buhar salındığında çekiç de pistonla birlike aşağıya düşer. Ünlü mühendis Isambard Kingdom Brunel *Great Britain* adlı çok büyük geminin tasarımını yaparken bunun yandan çarklı olmasını düşündü ve bir dökümhane sahibi olan James Hall Nasmyth'e (1808 – 1890)[11] (Şekil – 10.158) başvurarak bu muazzam büyüklükteki çarkların şaftının dövülebilmesi için mekanik bir çekice gerek olduğunu belirtti.

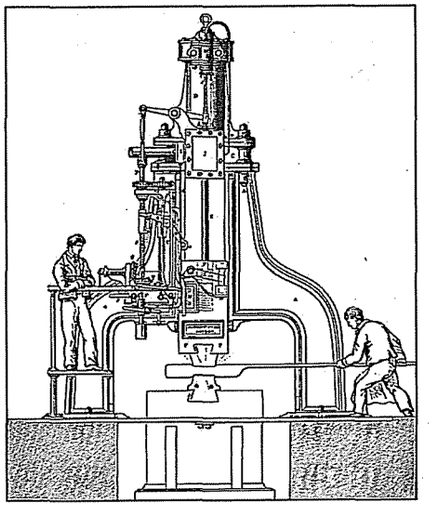
Şekil – 10.158: James Hall Nasmyth. (1808 – 1890). [Matschloss, s. 180].

11 *James Hall Nasmyth (1808 – 1890):* Bir mimar ve ressamın oğlu olan Nasmyth daha çocukluğunda mekanik işlere olan olağanüstü yeteneğini gösterdi. Bir mekanik teknisyeni olmak için 1821 – 1825 arasında Edinbourgh'daki School of Arts'a [Sanat Okulu] devam etti. 1829 – 1831 yılları arasında Londra'da ünlü takım tezgâhları mucit ve üreticisi Henry Maudslay'in yanında yardımcısı olarak çalıştı. 1834'de Manchester'e giderek 1836'da burada bir dökümhane kurdu. Nasmyth henüz 48 yaşındayken kendisini emekliye ayırdı ve yaşamının geri kalan otuz yılını astronomi ile ilgilenerek geçirdi. [Day ve McNeil, s. 515 – 516; Feldman ve Ford, s. 144 – 145].

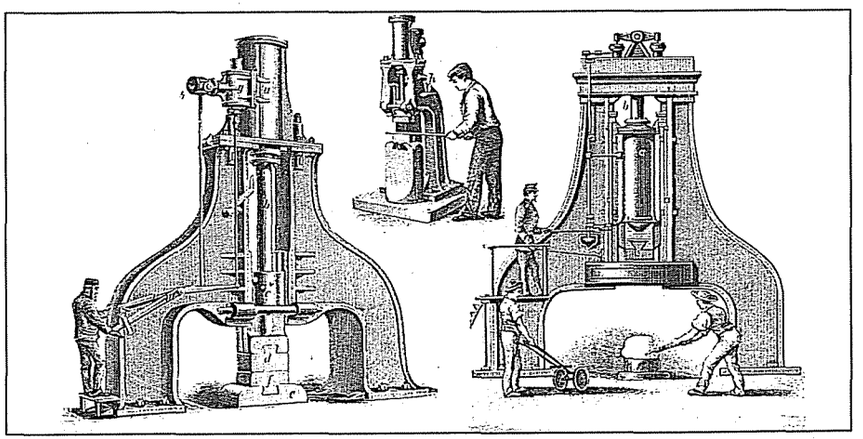
Bunun üzerine Nasmyth 1839'da buharlı çekici tasarlayarak yaptı ve patentini 1842'de aldı. (Şekil – 10.159, 10.160 ve 10.161). Ancak gemi pervaneli biçime dönüştürüldüğünden çekice gerek kalmamakla birlikte sanayinin çok önemli bir aracı haline geldi.



Şekil – 10.159: Buharlı çekicin Nasmyth tarafından yapılan ilk tasarımı. (24 Kasım 1839). [Lilley, Levha XVII].



Şekil – 10.160: Bir buharlı çekicin çalışma sistemi.



Şekil – 10.161: Çeşitli tip ve büyüklükte buharlı çekiçler.

İÇTEN YANMALI MOTORLAR

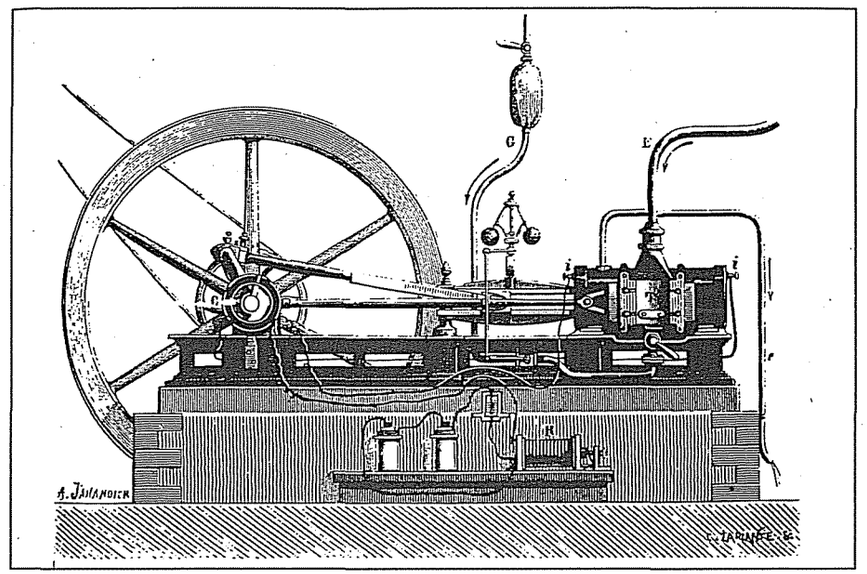
İçten yanmalı motorların temel ilkesi silindir içinde yakılan bir yakıttan oluşan yanma gazlarının basıncı ile pistonun itilmesine dayanır. Bu bakımdan içten yanmalı motorlar Christian Huygens'in barutlu makinesinin gelişmiş biçimidir. Buhar makinesinin gelişimi ve bu makine üzerinde mühendislik sorunlarının çözülmüş olması içten yanmalı motorlara geçişi kolaylaştırmıştır. Başlangıçta yakıt olarak havagazı kullanılmıştır.

Etienne Lenoir (1822 – 1900)

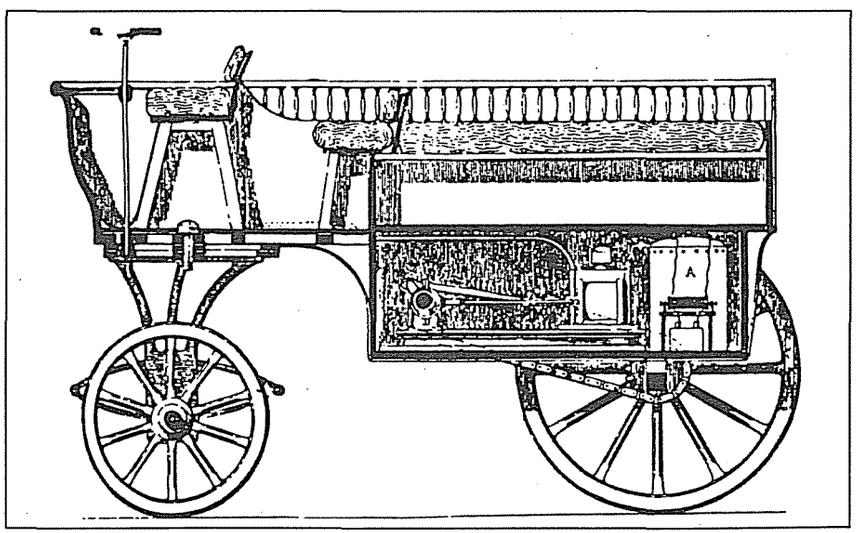
Fransa'da Jean Joseph Etienne Lenoir (1822 – 1900)[12] (Şekil – 10.162) 1859'da buhar makinesinden yola çıkarak havagazı ile çalışan içten yanmalı bir motor yaptı ve 1860'da patentini aldı. (Şekil – 10.163). Bu makinede piston içine çekilen havagazı ve hava karışımı bir elektrik kıvılcımı ile ateşleniyordu. Çift etkili hale getirdiği bu motor Paris'de Hippolyte Marinoni (1823 – 1904) ve İngiltere'de Reading Ironworks tarafından yüz tane kadar üretildi. Daha sonra 1862'de ısıtılmış sıvı yakıtla çalışan bir motor ve bununla çalışan bir araba yaptı. (Şekil – 10.164).

Şekil- 1.162: Jean Joseph Etienne Lenoir. (1822 – 1900).

12 *Jean Joseph Etienne Lenoir (1822 – 1900):* Aslen Belçikalı olup daha küçük yaşındayken ailesi Fransa'ya yerleşti. Yeterli bir öğrenim görmedi ve bir yandan çeşitli işlerde çalışırken öte yandan da kendini yetiştirdi.



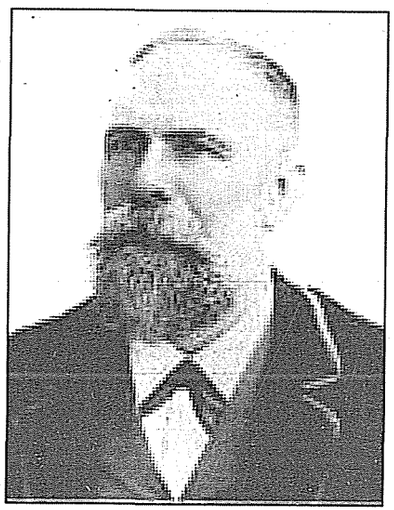
Şekil – 10.163: Etienne Lenoir tarafından 1860 yılında yapılan ve havagazı ile çalışan içten yanmalı motor. Buhar makinesinin değiştirilmiş bir biçimi olan bu motor iki zamanlıdır. [Feldman ve Ford, s. 171].



Şekil – 10.164: Lenoir'ın 1860 – 1863 arasında yaptığı motorlu arabası. [Feldman ve Ford. S, 171].

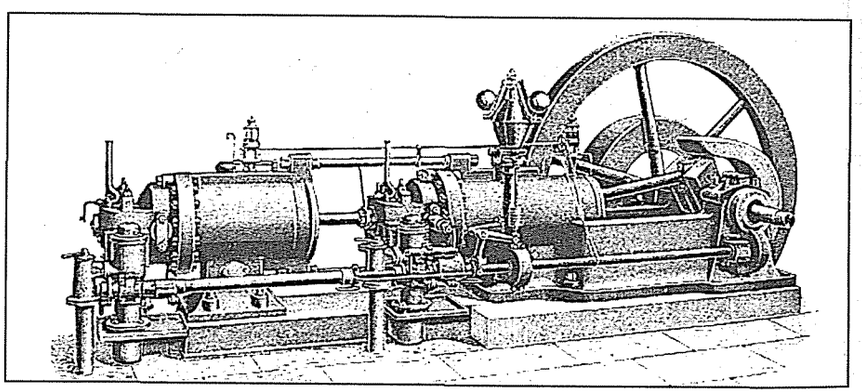
Ernst & Barthold Körting kardeşler

Gaz motoru üreten şirketlerden biri de Hanover'de bulunan ve 1871'de iki kardeş tarafından kurulmuş olan Ernst & Barthold Körting şirketidir. (Şekil – 10.165 ve 10.166). Ürettikleri büyük gaz motorları demir sanayiinde yüksek fırınlara hava üflemede kullanılmıştır. (Şekil – 10.167, 10.168, 10.169 ve 10.170).

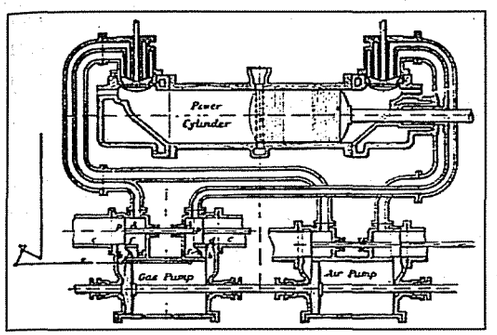


Şekil – 10.165: Ernst Körting. (1842 – 1923).

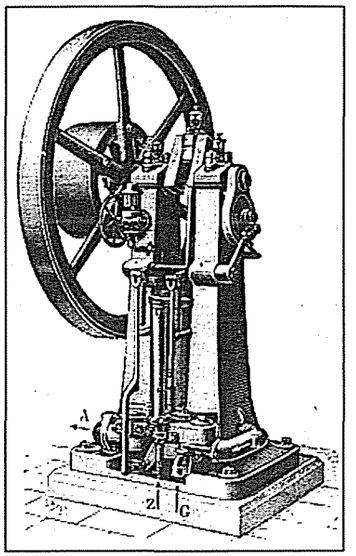
Şekil – 10.166: Barthold Körting. (1839 – 1919).



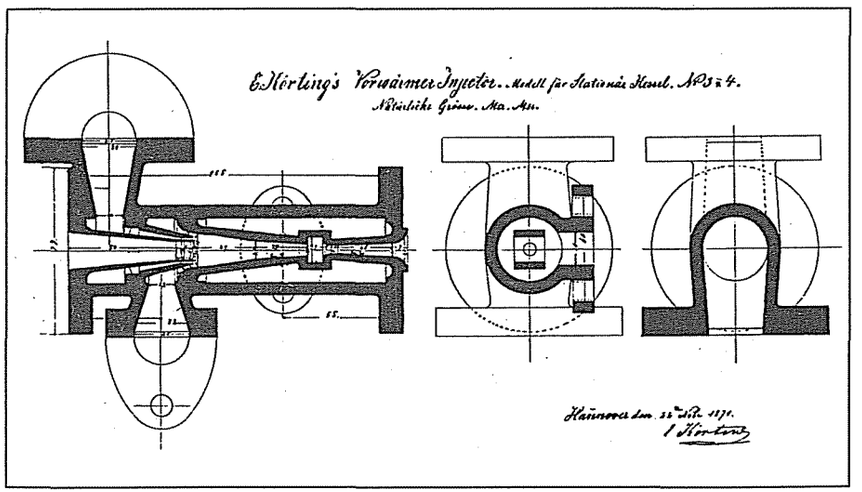
Şekil – 10.167: Körting ardışık iki silindirli (tandem) gaz motoru. [Grunmach ve Barthold, s. 753].



Şekil – 10.168: Körting çift etkili gaz motorunda silindire hava ve gaz veren pompalar ve valflar.



Şekil – 10.169: Bir Körting dikey gaz motoru. [Grunmach ve Barthold, s. 753].

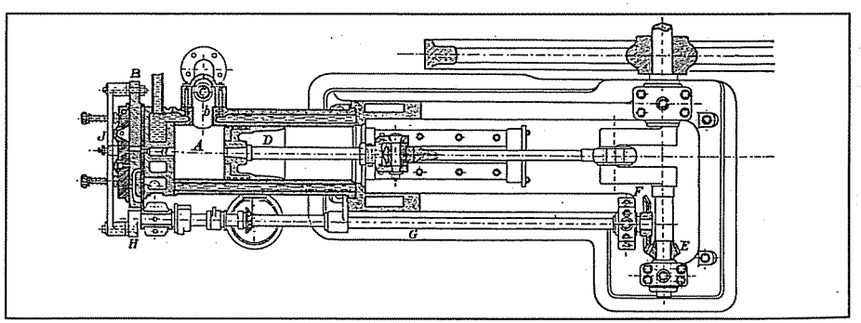


Şekil – 10.170: Körting tarafından 1871'de yapılmış olan buhar kazanları için enjektör tasarımı.

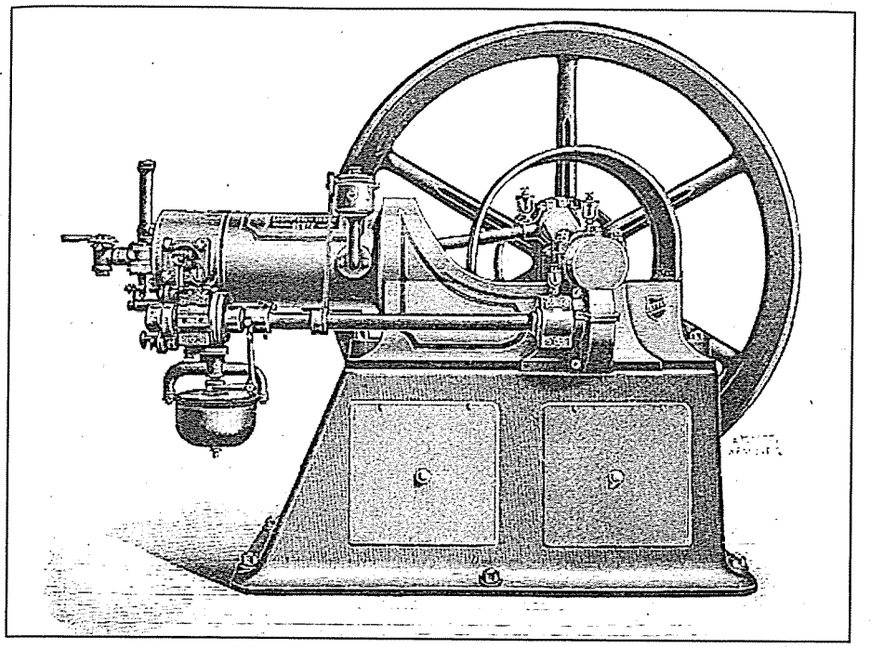
Nikolaus August Otto (1832 – 1891)

Düzenli bir öğrenim görmeyip kendi kendini yetiştirmiş bir kişi olan Nikolaus August Otto (1832 – 1891) (Şekil – 10.171). 1861 – 1864 arasında iki zamanlı gazlı motorlar yaptı ve 1867 Paris sergisine yeni bir motor sundu. (Şekil – 10.172, 10.173 ve 10.174). Sermaye sahibi Eugen Langen (1833 – 1895) ile ortak olarak Köln'de "Gasmotorenfabrik Deutz" adı altında bir motor fabrikası kurdu. 1876'da sıvı yakıtla çalışan dört zamanlı motorunun patentini aldı ve sonraki yıllarda "Otto motoru" adı altında 50.000 tane üretti. (Şekil – 10.175) Bu motor otomobile giden yolun başlangıcını oluşturdu. 1862'de dört zamanlı motorun çalışma ilkesini ortaya koyan Fransız Alphonse Beau de Rochas (1815 – 1893) tarafından açılan dava sonucunda 1886'da patenti iptal edilmekle birlikte motorun Otto'nun adıyla anılması sürdürüldü

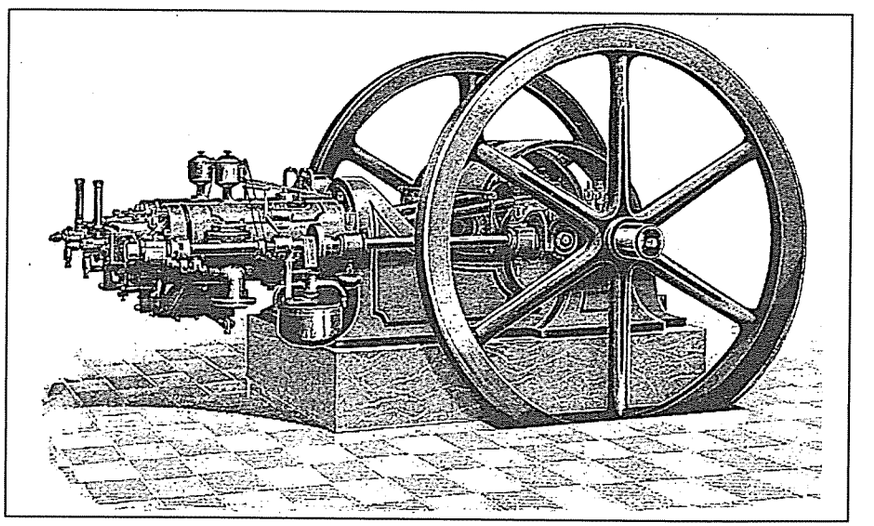
Şekil – 10.171: Nikolaus August Otto. (1832 – 1891). [Matschloss, s. 250].



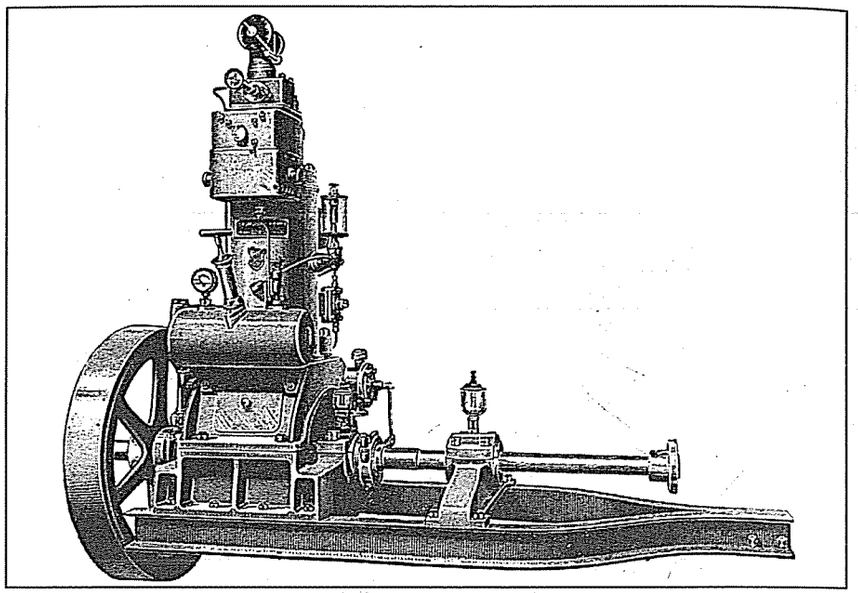
Şekil – 10.172: Otto'nun yatay konumlu tek silindirli gaz motorunun kesiti. [Grunmach ve Rosenboom, 750].



Şekil – 10.173: Otto'nun yatay konumlu tek silindirli gaz motoru. [Grunmach ve Rosenboom, 751].



Şekil – 10.174: Otto'nun yatay konumlu çift silindirli gaz motoru. [Grunmach ve Rosenboom, 751].



Şekil – 10.175: Otto'nun benzin motoru. [Grunmach ve Rosenboom, 751].

Gottlieb Daimler (1834 – 1900)

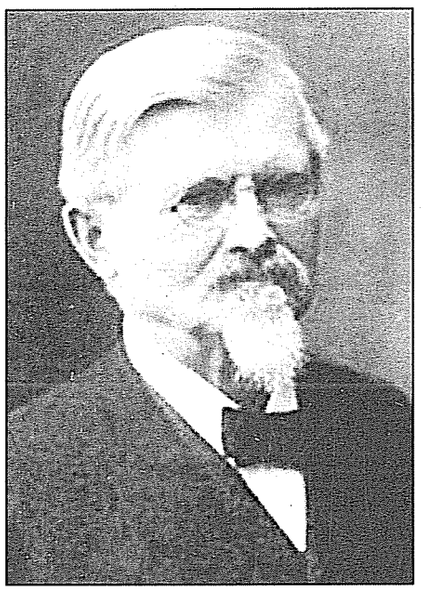
Nikolous Otto'nun fabrikasında teknik yönetici olarak çalışan Gottlieb Daimler (1834 – 1900)[13] (Şekil – 10.176) 1875'de Wilhelm Maybach (1846 – 1929)[14] (Şekil – 10.177) ile

13 *Gottlieb Daimler (1834 – 1900):* Bir siläh yapımcısının yanında çırak olarak çalışmaya başladı ve giderek ustalaşıp bazı buluşlar ortaya koydu. 1853 – 1857 döneminde Stuttgart Teknik Okulu'nda makine mühendisliği öğrenimi gördü. 1861'de önce Fransa ve ardından İngiltere'ye giderek çeşitli fabrikalarda incelemeler yaptı. Almanya'ya dönüşünün ardından bir süre çeşitli fabrikalarda çalıştıktan sonra 1870'de Nikolaus Otto'nun fabrikasına teknik yönetici oldu.

14 *Wilhelm Maybach (1846 – 1929):* 1883'de Gottlieb Daimler ile çalışmaya başladı. 1885'de Daimler'in dört zamanlı motorun patentini alması ve 1890'da otomobil üretmek üzere "Daimler Motoren Gesellschaft"ı kurması üzerine 1895'de şirketin teknik yöneticisi oldu. Bulduğu karbüratörün 1893'den sonra yaygın olarak kullanılmaya başlanılması üzerine patent davaları açtıysa da çoğunu kaybetti. 1900'de Mercedes marka otomobili geliştirdi. 1909'da oğlu ile birlikte Zeppelin motorlarını üretmek üzere bir şirket kurdu. Otomobil üretiminde preslenmiş çelik şasi, balpeteği radyatör ve motor yatakları önemli buluşlarıdır.

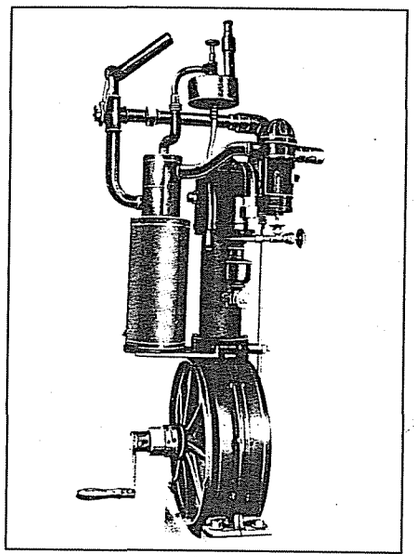
birlikte Otto'dan ayrılarak Stuttgart'da bir atölye açıp hafif ve yüksek hızlı bir motor geliştirmeye başladı. (Şekil – 10.178, 10.179 ve 10.180). 1883'de üç tekerlekli bir motosikletin ve 1886'da dört tekerlekli bir arabanın patentini aldı. (Şekil – 10.181 ve 10.182). 1887'de arabasını Paris'de sergiledi. 1890'da kendi şirketini kurdu, 1896'da ilk kamyonu ve 1901'de "Mercedes" arabayı üretti.[15] (Şekil – 10.183 ve 10.184). Şirketi 1926'da Benz ile birleşerek Mercedes – Benz adını aldı.

Şekil – 10.176: Gottlieb Daimler. (1834 – 1900). [Matschloss, s. 261].

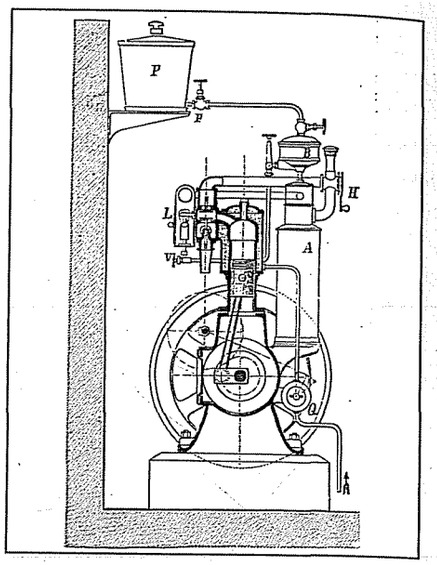


Şekil – 10.177: Wilhelm Maybach. (1846 – 1929).

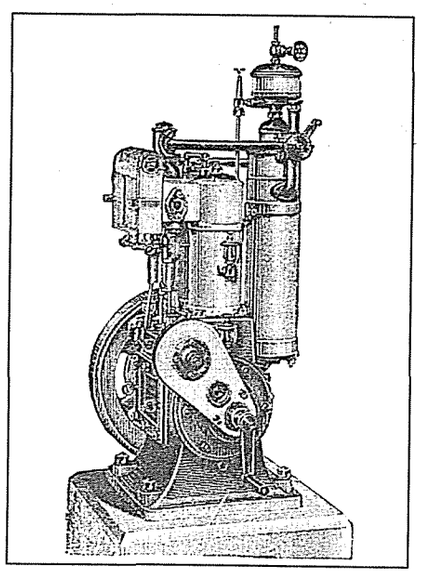
15 Fransa'da Nice'de yaşayan Avusturyalı tüccar ve aynı zamanda Avusturya'nın Nice Başkonsolosu olan Emil Jellinek 1897'de Daimler'in fabrikasını ziyaret ederek bir otomobil satın aldı. Dönemin aristokrasi ve ticaret çevreleri ile yakın ilişkisi bulunan Jellinek bu araba ile büyük ilgi topladığı gibi 1899'da kızı Mercedes'in adını verdiği başka bir Daimler arabası ilé Nice'de yapılan bir yarışı kazandı. Daha sonra Daimler fabrikasına 36 otomobil siparişi verdi ve bunların "Mercedes" adını taşımasını istedi. Bu satış başarısı üzerine Daimler ürettiği otomobillere "Mercedes" adını koydu ve bu adı 23 Haziran 1902'de marka olarak tescil ettirdi.



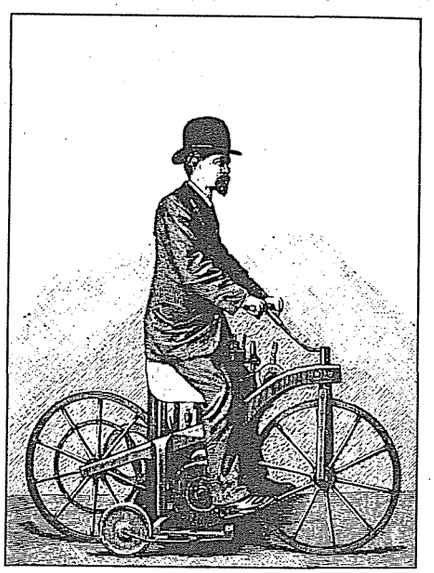
Şekil – 10.178: Daimler'in 1885'de ürettiği benzin motoru. [Verchmin ve Radkau, s.148].



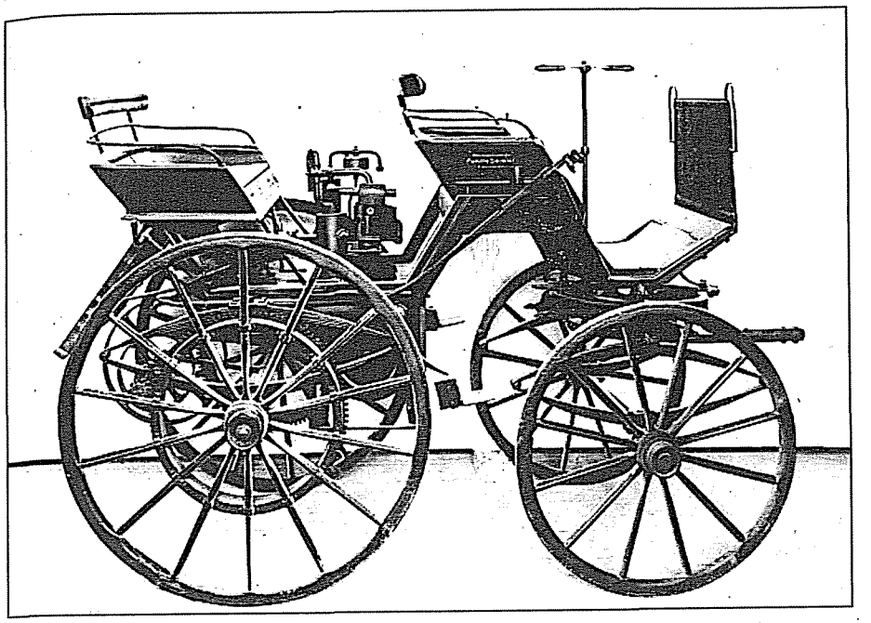
Şekil – 10.179:. Daimler benzin motoru. [Grunmach ve Rosenboom, s. 760]



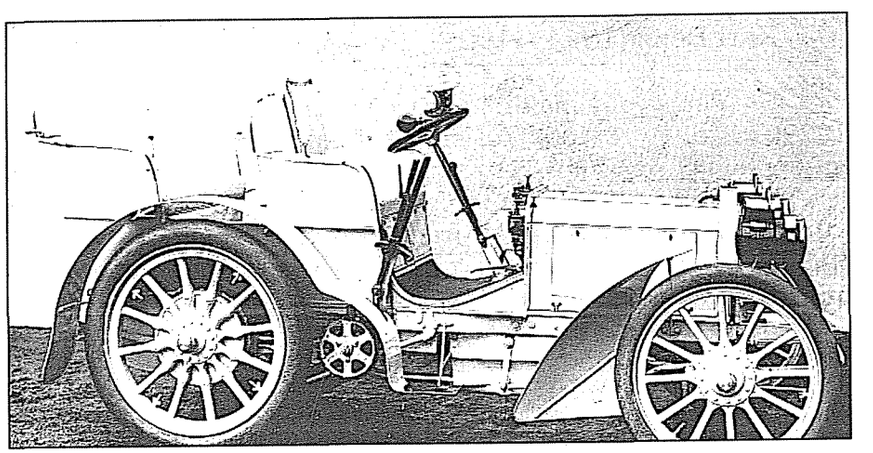
Şekil – 10.180: Daimler benzin motoru. [Grunmach ve Rosenboom, s.760]



Şekil – 10.181:. Daimler'in 1883'de yaptığı benzinli motosiklet.

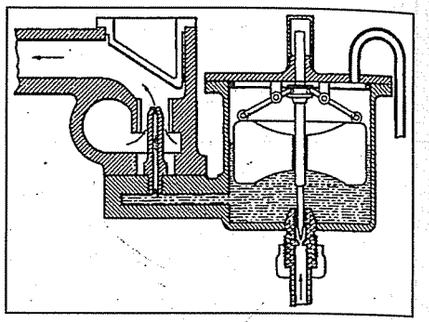


Şekil – 10.182: Daimler'in 1891'de ürettiği dört tekerlekli ve benzin motorlu araba.



Şekil – 10.183: Daimler tarafından 1901'de üretilen 36 HP gücünde "Mercedes" markalı araba.

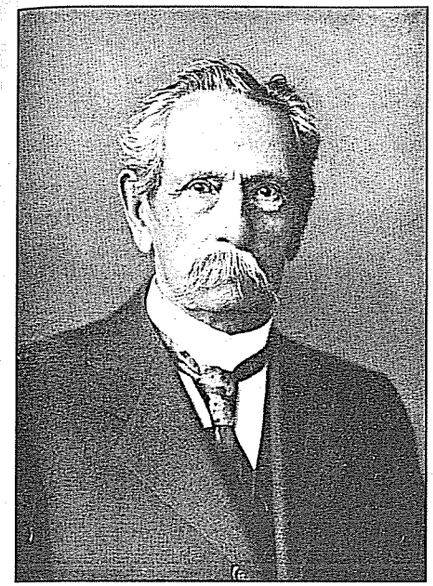
Şekil – 10.184: Daimler'in "Mercedes" markasının ilham perisi Mercedes Jellinek,



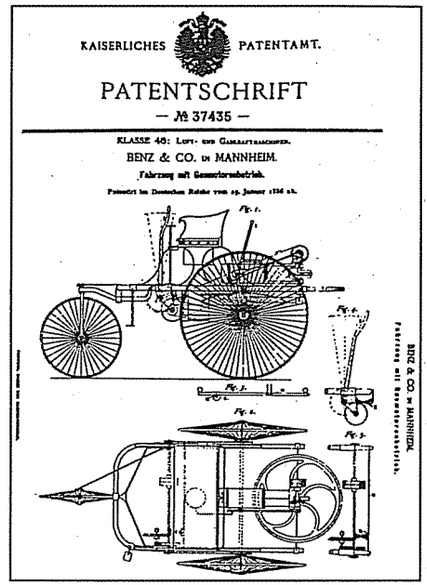
Şekil – 10.185: Wilhelm Maybach tarafından 1893'de bulunmuş olup bundan sonra Daimler ve ardından öteki yapımcılar tarafından kullanılan karbüratör. [Derry ve Williams, s. 606].

Karl Benz (1844 – 1929)

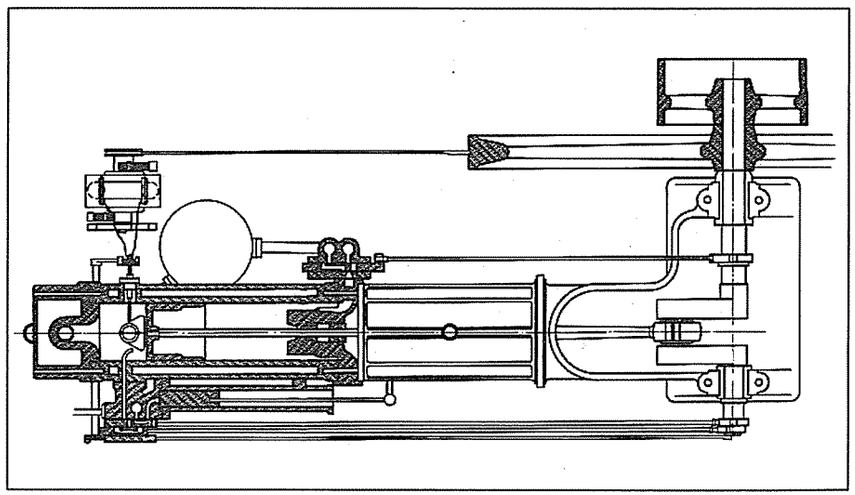
Bir demiryolu makinistinin oğlu olan Karl Benz (1844 – 1929) (Şekil – 10.186) Karlsruhe Teknik Okulu'nda makine mühendisliği öğrenimi gördü. 1877'de Manheim'da bir atölye açtı ve 1882'de "Gasmotorenfabrik Manheim" adlı bir şirket kurdu ise de 1883'de buradan ayrılarak "Benz & Cie Rhenische Gasmotoronfabrik" adlı yeni bir şirketi kurdu. 1883'de iki zamanlı gaz motorları üretti. (Şekil – 10.187). 1885'de üç tekerlekli bir araba yaptı ve burada kullandığı benzinle çalışan motorun patentini 1886'da aldı. (Şekil – 10.188, 10.189 ve 10.190). 1893'de ise dört tekerlekli bir araba (otomobil) yaptı. (Şekil – 10.191). Bu sırada Gotlieb Daimler de Benz'den habersiz kendi motorunu ve arabasını üretmek için çalışıyordu ve onun motorunu ilk kez 1896'da Paris'de gördü. Daimler ve Benz başlangıçta rakip olmakla birlikte 1926'da şirketlerini "Mercedes – Benz" adı altında birleştirdiler.



Şekil – 10.186: Karl Benz. (1844 – 1929).

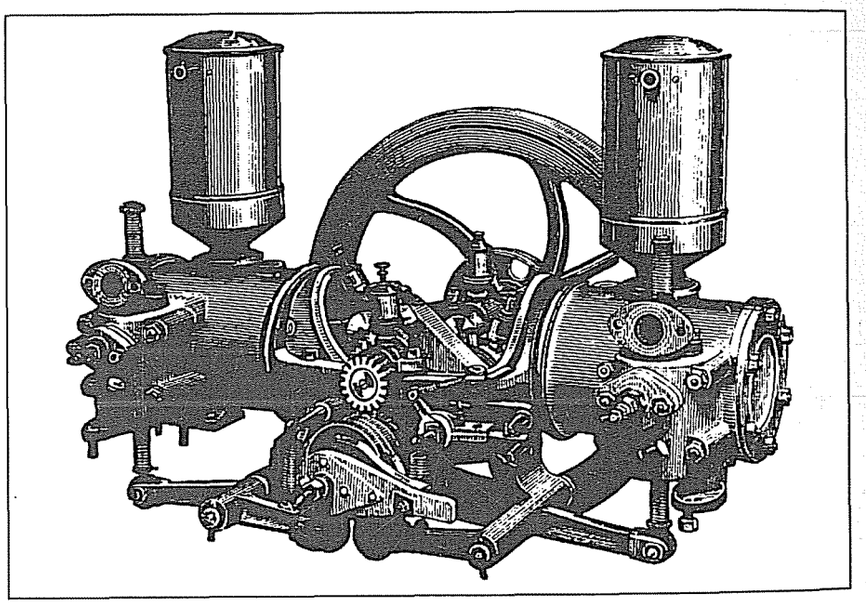


Şekil – 10.188: Karl Benz'in 29 Ocak 1886'da aldığı üç tekerlekli motorlu araba patenti.

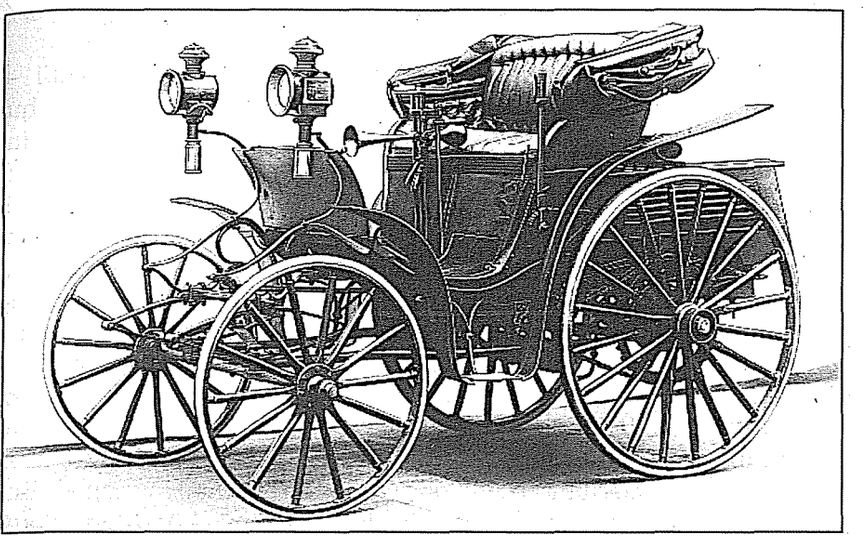


Şekil – 10.187: Karl Benz'in iki zamanlı gaz motorunun kesiti. (1883)

Şekil – 10.189: Karl Benz'in üç tekerlekli arabası. (1886).



Şekil – 10.190: Karl Benz'in iki silindirli ve dört zamanlı benzin motoru (1897).

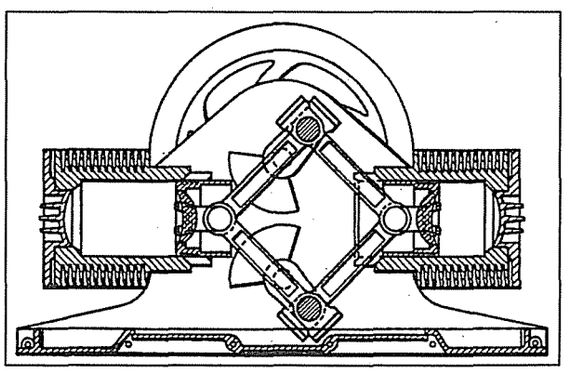


Şekil – 10.191: Karl Benz'in ürettiği ilk benzin motorlo dört tekerlekli araba olan "Landauer". (1893).

Frederick William Lanchester (1868 – 1946)

Makine mühendisi ve aerodinamikçi Frederick William Lanchester (1868 – 1946) (Şekil – 10.192) İngiliz otomobil endüstrisinin öncülerindendir. 1897 – 1904 döneminde kendi adıyla *Lanchester motoru* olarak anılan çift silindirli benzin motorunu yapmıştır. (Şekil – 10.193).

Şekil – 10.192: Frederick William Lanchester. (1868 – 1946).

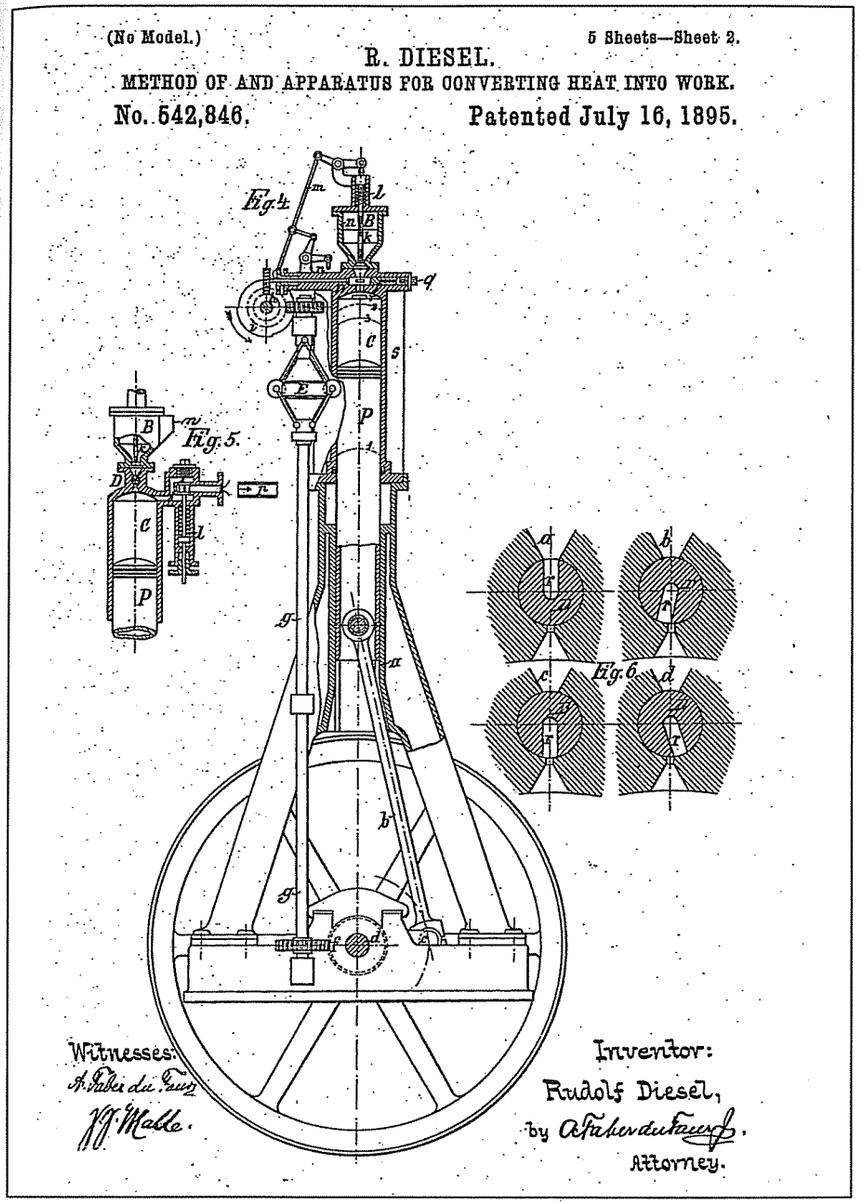


Şekil – 10.193: Çift silindirli Lanchester motoru. [Derry ve Williams, s. 607].

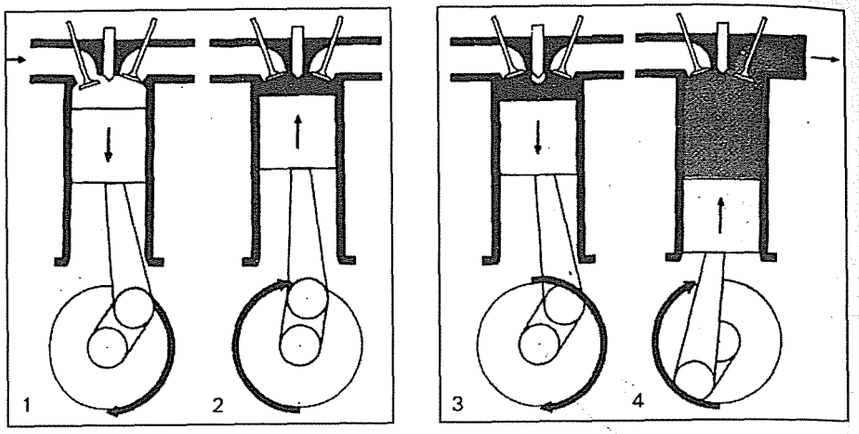
Rudolph Diesel (1858 – 1913)

Rudolph Christian Karl Diesel (1858 – 1913) (Şekil – 10.194) Münih'de makine mühendisliği öğrenimi gördü ve bu sırada Karl von Linde'nin öğrencisi oldu. Daha sonra Linde'nin Paris'deki buz makineleri şirketinde çalışmaya başladı. Bir süre sonra 1890'da Berlin'e dönerek Alfred Krupp'n parasal desteğini de alarak makine üreten bir şirketin laboratuvarında çalışmalarını sürdürerek 1892'de motorunu gerçekleştirdi. 1893'de yayınladığı "Theorie und Konstruktion eines rationellen Wärmemotor" [Rasyonel bir ısı motorunun kuramı ve yapımı] başlıklı makalesinde motorunu açıkladı. Burada havanın hacmının on altıda birine kadar sıkıştırılması durumunda 540 °C ye ısınacağını ve yakıtı tutuşturmak için ayrıca bir ateşlemeye gerek olmadığını ortaya koydu. Buna göre, silidire çekilen hava sıkıştırıldıktan sonra içine bir enjektör yardımıyla basınçla (36 kg/cm²) püskürtülen yakıt kendiliğinden tutuşur. (Şekil – 10.195 ve 10.196). Yakıt olarak ağır petrol ürünlerini kullanan Diesel motoru hızla büyük bir yaygınlık kazandı

Şekil – 10.194: Rudolph Christian Karl Diesel. (1858 – 1913). [Matschloss, s. 208].

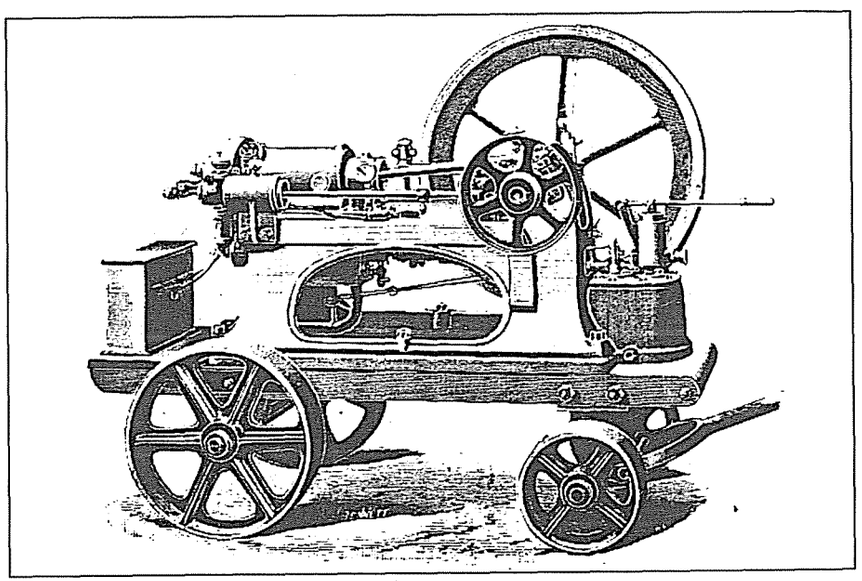


Şekil – 10.195: Rudolf Diesel'in Amerika Birleşik Devletleri'nde aldığı 16 Temmuz 1895 tarihli "Method and apparatus for converting heat into work" [Isıyı işe dönüştürmek için yöntem ve araç] başlıklı patenttnde motorun genel çizimi. (USP 542,846).

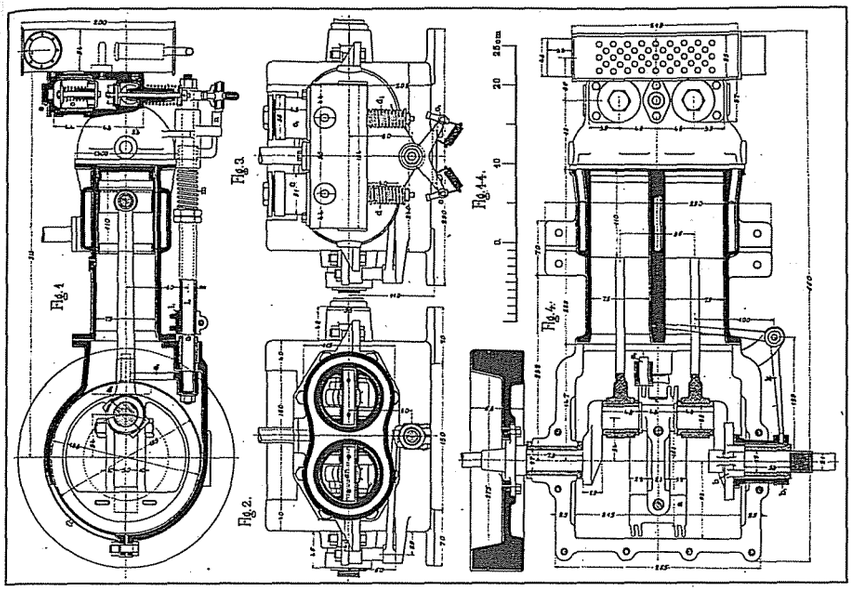


Şekil – 10.196: Dört zamanlı bir Diesel motorunun çalışması. ***(1) Emme:*** Silindire açık olan valftan hava girer ve piston aşağıya indiğinde hava valfı kapanır, ***(2) Sıkıştırma:*** Piston yukarı çıkarak havayı sıkıştırır ve ısınmasına neden olur, ***(3) Ateşleme:*** sıkıştırma en yüksek düzeye ulaştığında içeri yakıt püskürtülür ve karışımın ateşlenmesi sonucunda piston aşağı itilir, ***(4) Egzos:*** Piston aşağıdayken egzos valfı açılır ve yukarı çıkan piston gazları dışarı atar. [Feldman ve Ford, s. 187].

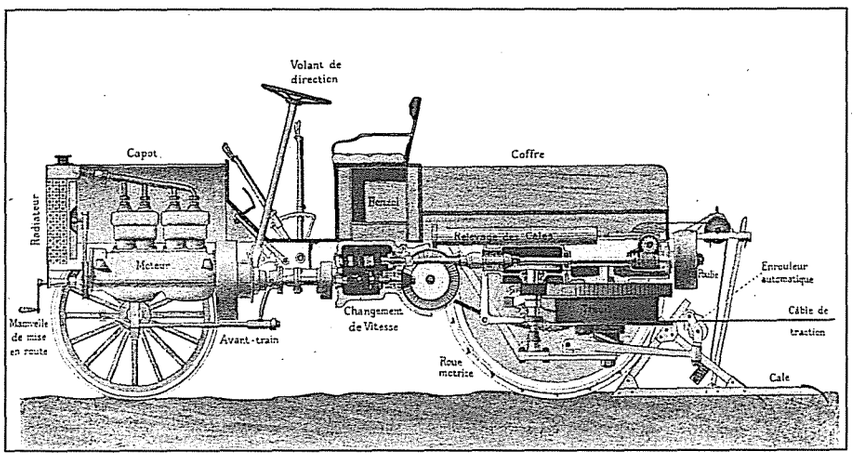
XX. yüzyılın başında içten yanmalı motorlar



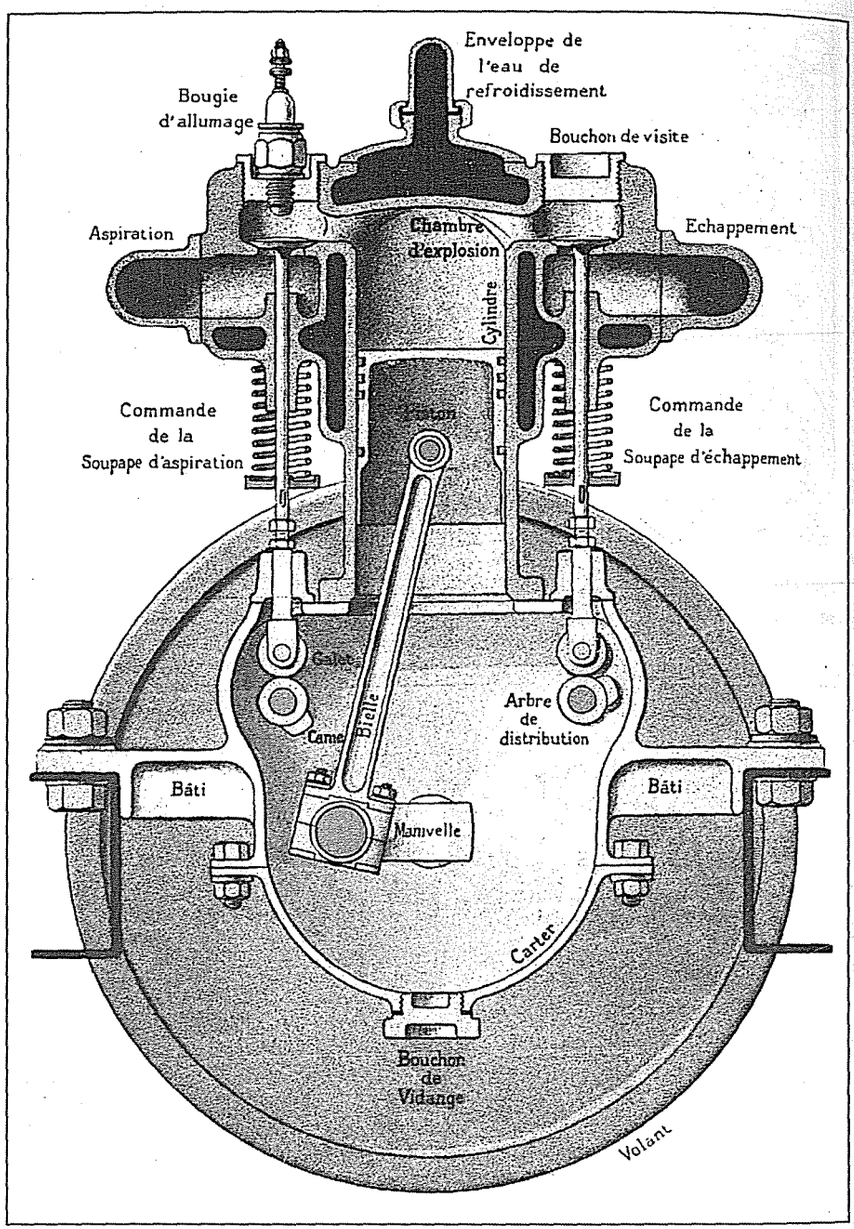
Şekil – 10.197: Seyyar bir gaz motoru.(1892). [Edgington, s. 5].



Şekil – 10.198: Fransız Peugeot & Cie. tarafından üretilen otomobil motoru. (1889). [Uhland, VI, Levha 92].



Şekil – 10.199: 1920'lerde tarımda kullanılan bir traktörün kesiti. Burada da lokomobillerde olduğu gibi traktör sabit olarak durmakta ve pulluğu bağlı olduğu halatı sararak çekmektedir.



Şekil – 10.200: XX. yüzyıl başlarına ilişkin içten yanmalı ve tek silindirli bir benzin motorunun kesiti.

KAYNAKLAR

Balsöz, A. Mümtaz, *Pistonlu Buhar Makinaları. Hesabı – Yapımı*, 2. baskı, Yıldız Teknik Okulu Yayınları, İstanbul 1965.

Bernal, John Desmond, *Science in History*, 3rd ed., 4 cilt, Penguin Boks, Harmondsworth 1969.

Bernal, J[ohn] D[esmond], *Modern Çağ Öncesi Fizik*, Çeviren Deniz Yurtören, TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları, Ankara 1995.

Briggs, Asa, *The Power of Steam – An Illustrated History of the World's Steam Age*, Sheldrake Press, London 1990.

Bory, Paul, *Le Roi des Métaux*, Alfred Mame et Fils, Tours 1886.

Cumhuriyet Halk Partis,. *On Beşinci Yıl Kitabı*, Cumhuriyet Matbaası, İstanbul 1938.

Cossons, Neil, *The BP Book of Industrial Archaelogy*, 3rd ed., David and Charles, Devon 1993.

Day, Lance ve Ian McNeil (Eds), *Biographical Dictionary of the History of Technology*, Routledge, London 1996.

Derry, T. K. ve Trevor Williams, *A Short History of Technology*, Oxford University Press, Oxford 1979.

Dickinson, H. W. ve H. F. Vowles, *James Watt and the Industrial Revolution*, Longmans Green and Co., London 1943.

Dölen, Emre, "XX. yüzyıl başlarında «Boğaziçi Tüneli» girişimi ve Ahmed Besim Paşa", *Çağını Yakalayan Osmanlı*, IRCICA Yayınları İstanbul 1995, s. 343 – 371.

Ducassé, Pierre, *Tekniklerin Tarihi*, Çeviren Turhan Düveren, Gelişim Yayınları, İstanbul 1976.

Edgington, David, *Old Statidonary Engines*, Shire Publication Ltd., Buckinghamshire – Aylesbury 1985.

Feldman, Anthony ve Peter Ford, *Bilginler ve Buluşlar Ansiklohpedisi*, Çevirenler Mehmet ve Kezban Akçalı, Milliyet Yayınları, İstanbul 1983.

Figuier, Louis, *Les Grandes Inventions Anciennes et Modernes dans les Sciences, l'Industrie et des Arts*, Librairie de L. Hachette, Paris 1861.

Finch, James Kip, *The Story of Engineering*, Anchor Boks, New York 1960.

Genç, Elif Süreyya, *Osmanlı İmparatorluğu'nda Yenileşme ve Buhar Makineleri*, Doğu Kitabevi, İstanbul 2010.

Giz, Adnan, "Türkiye'de ilk buhar makineleri", *İstanbul Sanayi Odası Dergisi*, Yıl 5/Sayı 57, 15 – 16 (15 Kasım 1970).

Glaser, Hermann ve Nobert Neudecker, *Die deutsche Eisenbahn – Bilder aus Ihrer Geschichte*, Verlag C. H. Beck, München 1984.

Glover, Graham, *British Locomotive Design: 1825 – 1960*, George Allen and Unwin Ltd., London 1967.

Grunmach, L. ve E. Rosenboom, *Die Kräfte der Natur und ihre Benutzung*, Verlag von Otto Spamer, Leipzig [t.y.].

Hayes, Geoffrey, *Industrial Steam Locomotives*, Shire Publication Ltd., Buckinghamshire – Aylesbury 1989.

Hills, Richard L., *Power from Steam – A History of the Stationary Steam Engine*, Cambridgfe University Press, Cambridge 1997.

Kiaulehn, Walther, *Demir Melekler*, Çeviren Hayrullah Örs, Remzi Kitabevi, İstanbul 1971.

Kirby, Richard Shelton, Sidney Withington, Arthur Burr Darling ve Frederick Gridley Kilgoıur, *Engineering in History*, Dover Publications Inc., New York 1990.

Klemm, Friedrich. *Geschichte der Technik*, Rowohlt Taschenbuch Verlag, Hamburg 1989.

Kundakçı, Selçuk ve Sedat Tosunoğlu. *Son Buharlılar*, İstanbul 1990.

Küçükerman, Önder, *"Feshane" Defterdar Fabrikası*, Sümerbank Yayınları. Ankara 1988.

Law, R. J., *The Steam Engine*, Science Museum Publications. London 1990.

Leithäuser, Joachim G., *Inventors' Progres*, Çeviren Michael Bullock. The World Publisching Co., Cleveland 1959.

Lilley, Samuel, *Men, Machines and History*, Lawrence and Wishart, London 1965.

Matschloss, Conrad, *Grosse Ingenieure*, J. F. Lehmanns Verlag, München 1937.

Newth, A. M., *Britain in the World: 1789 – 1901*, Penguin Education, Harmondsworth 1976.

Ökçün, A. Gündüz (Yayına hazırlayan), *Osmanlı Sanayii: 1913, 1915 Yılları Sanayi İstatistikleri*, 2. baskı, Ankara Üniversitesi Siyasal Bilgiler Fakültesi Yayınları, Ankara 1971.

Pacey, Arnold, *Technology in the World Civilizations*, Basil Blackwell Ltd., Oxford 1990.

Palmer, Marilyn ve Peter Neaverson, *Industrial Archaelogy – Principles and Practice*, Routledge, London 2000.

Parsons, R. H., *The Steam Turbine and Other Inventions of Sir Charles Parsons, O. M.*, Longmans Gren and Co., London [t.y.].

Patrick, A. J., *The Making of a Nation: 1603 – 1789*, Penguin Education, Harmondsworth 1973.

Selmeier, Franz, *Eisen, Kohle und Damph – Die Schrittmacher der industriellen Revolution*, Rowohlt Taschenbuch Verlag, Hamburg 1984.

Smith, Donald J., *Robert Stephenson*, Shire Publications, Buckinghamshire 1984.

Sommerscales, E. F. C., "Steam and internal combustion engines", *An Encyclopedia of the History of Technology*, Ed. Ian McNeil, Routledge, London 1996, s. 272 – 349.

Taylor, Boswell, *James Watt: The Man Who Harnessed Steam*, Macmillan and Co., London 1964.

Uhland, W. H., *Branchen – Ausgabe des Skizzenbuchs für den Praktischen Maschinen – Constructeur, Band IV: Damphmaschinen*, 2. baskı, Verlag von Gerhard Kühtmann, Dresden 1894; *Band VI: Luft – und Gasmotoren, Göpel und Windräder*, Verlag von H. A. Lurwig Degener, Leipzig 1889.

Usher, Abbott Payson, *A History of Mechanical Inventions*, Dover Publications Inc., New York 1988.

Varchmin, Jochim ve Joachim Radkau, *Kraft, Energie und Arbeit – Energie und Gesellschaft*, Rowohlt Tashenbuch Verlag, Hamburg 1988.

White, John H., *A History of the American Locomotive – Its Development: 1830 – 1880*, Dover Publications Inc., New York 1968.

Wolf, A., *A History of Scigence, Technology and Philosophy in the 16th and 17th Centuries*, 2 cilt, Harper Torchbooks, New York 1959.

Yapp, Nick, *The British Millennium*, Könemann, Köln 2000.

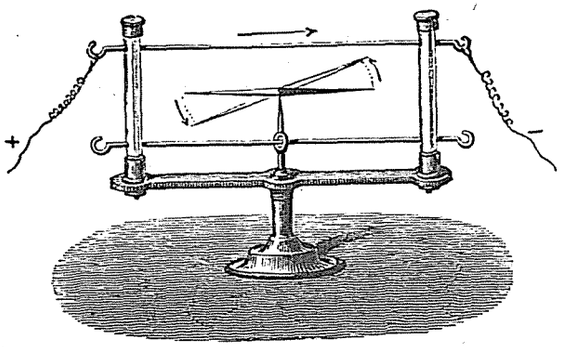
KISIM – 4

ELEKTRİK TEKNOLOJİSİ

BÖLÜM – 11: MAGNETİZMA VE STATİK ELEKTRİK

BÖLÜM – 12: ELEKTRİK AKIMI VE ELEKTROMAGNETİZMA

BÖLÜM – 13: ELEKTRİK TEKNOLOJİSİ



BÖLÜM – 11

MAGNETİZMA VE STATİK ELEKTRİK

GİRİŞ

Elektriğin tarihi M.Ö. VI. yüzyılda Miletos'lu Thales ile başlar. Thales bir kehribar (Yunanca elektrum) parçasının bir posta sürtüldüğünde saman parçaları gibi cisimleri çekme özelliği kazandığını saptamıştır. Cisimlerin sürtme ile elektriklenmesi konusundaki çalışmalar ancak Thales'den ikibin yıl sonra Bilimsel Devrim ile birlikte XVI. yüzyılda başlamıştır.

Elektrik ve elektrik teknolojisinin tarihi belirli dönemlere ayırılabilir:

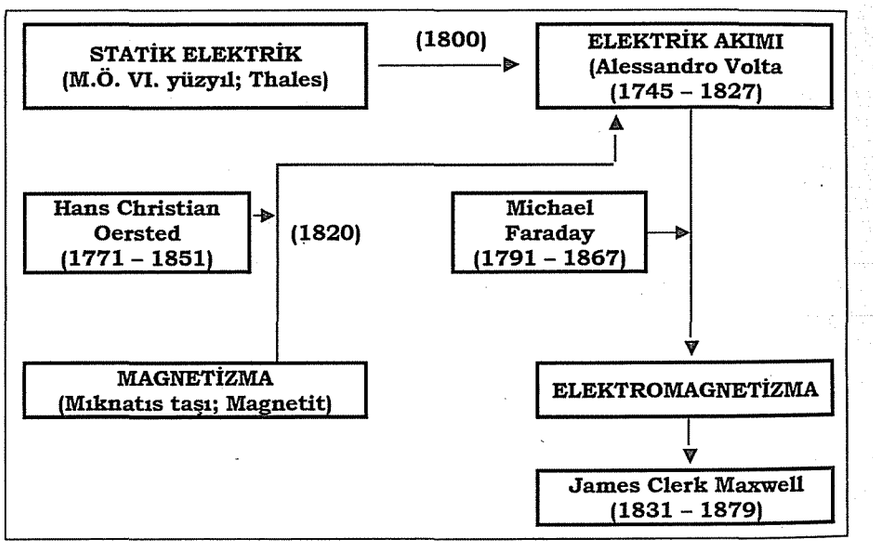
1. Statik elektrik dönemi: Bu dönem Thales'den başlayıp 1800 yılına kadar gelen dönem olup özellikle XVI. yüzyıldan sonraki bölümü önemlidir. Bu dönemde statik elektrik konusunda çeşitli buluşlar ortaya konulmuş, elektriğin mahiyeti anlaşılmaya çalışılmış ve statik elektrik üreten çeşitli elektrik makineleri yapılmıştır. Bununla birlikte, elektrik bilimin konusu olmakla birlikte etkileri toplantılarda ve saraylarda bir eğlence aracıdır. Bu dönemde elektrikle ilgili en önemli teknolojik buluşlar Leyden şişesi (kondansatör) ve paratonerdir.

2. Elektrik akımı dönemi: Bu dönem 1800 yılında İtalyan Alessandro Volta (1745 – 1827) tarafından elektrik akımı veren ilk pilin yapılması ile başlayıp günümüze kadar süren dönemdir. Bu dönem de kendi içinde dönemlere ayrılır.

a) 1800 – 1820 dönemi: Bu dönemde tek akım kaynağı Volta pilidir ve bir yandan elektrik akımı bilimsel olarak

incelenirken öte yandan da uygulama olarak elektroliz ve elektrolitik kaplama ortaya çıkmıştır.

b) Elektromagnetizma dönemi: 1820'de Danimarka'da Hans Christian Oersted (1771 – 1851) tarafından bir telden geçen elektrik akımının yakınındaki pusulayı etkilemesi yani magnetik bir etki yaratmasının bir rastlantı sonucu bulunmasının ardından yeni bir dönem başlamıştır. Böylece o güne kadar farklı bir alan sayılan magnetizma ile elektrik arasında karşılıklı etkileşim ortaya çıkmıştır. Bu buluşun hemen ardından Fransa'da André Marie Ampère (1775 – 1836) yaptığı çalışmalarla elektrodinamiğin temel yasalarını ortaya koymuştur. İngiltere'de ise Michael Faraday (1791 – 1867) yaptığı deneyler sonucunda 1821'de elektrik motorunun ve transformatörün temel ilkelerini ortaya koymuş, 1831'de elektromagnetik indüksiyonu bularak dinamonun temel ilkesini ve 1834'de de elektroliz yasalarını ortaya koymuştur. Bununla birlikte elektrik motoru ve dinamonun yaşama geçirilmesi için elli yıl geçmesi gerekmiştir. Sonunda James Clerk Maxwell (1831 – 1879) elektromagnetik teoriyi kurmuştur. Elektrik ve magnetizma arasındaki ilişkilerin gelişimi (Şekil – 11.1)'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil – 11.1: Elektrik ve magnetizma arasındaki ilişkiler.

Isaac Newton'un ilgi göstermediği tek alan olan ve kendisinden sonra gelişen ilk bilim dalı elektriktir. Bu nedenle Newton'un belirleyiciliğinden rahatsız olmadan elektrik alanındaki araştırmalar rahatça yapılabilmiştir. Başka alanlarda Newton'un otoritesi ile ters düşmemek kaygısı zaman zaman ciddi sıkıntılar yaratmıştır.

SÜREKLİ MIKNATIS

Sürekli mıknatıslar ve pusula[1]

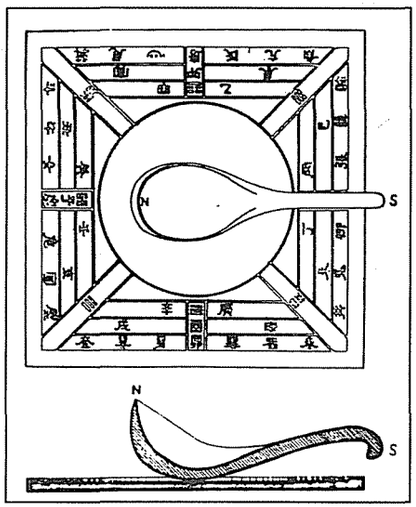
Eskilerin bildiği tek sürekli mıknatıs doğada bulunan *mıknatıs taşı* (*magnetit*, Fe_3O_4)'dır. Buradaki adın kökeni olan *magnes* sözcüğü bu taşın Teselya'daki Magnesia'da bulunmasından gelir. Miletos'lu Thales de mıknatıs taşının özelliklerini bilmektedir. Bununla birlikte magnetik iğne yani pusula XII. yüzyıldan önce Avrupa'da bilinmez. Oysa bundan bin yıl öncesinden beri bir fal aracı olarak Çin'de bilinmektedir. (Şekil – 11.2 ve 11.3).

İlk yapay sürekli mıknatıslar demir iğnelerin mıknatıs taşına değdirilmesiyle elde edilmiştir. Bundan 1200 yılı dolaylarında ilk kez söz eden kişi Fransız gezgin şair Guyot de Provins'dir. *La Bible* adlı şiirinde suda yüzen bir saman parçası üzerindeki iğnenin mıknatıs taşına değdirilerek pusula yapıldığını yazar.

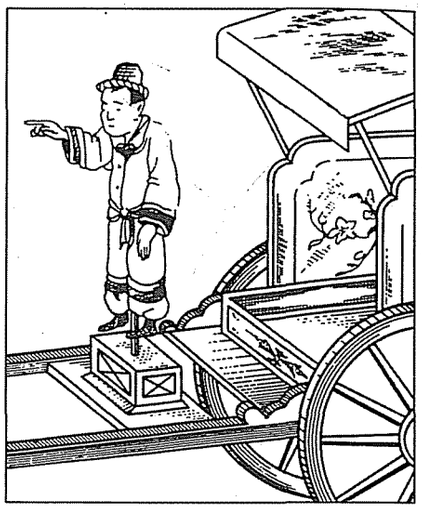
Pusula denizcilik açısından açık denizlere açılabilmek için gerekli yer ve yön belirleme aletlerinin başında gelir. Ancak, pusulayı doğru bir biçimde kullanabilmek için hem magnetizma ve hem de dünyanın magnetik alanı ve pusulanın sapma açısı konusunda bilimsel bilgiye ihtiyaç vardır. Bilimsel

1 E. N. da C. Andrade, "The early history of the permanent magnet", *Endeavour*, 17 (65), 22 – 30 (1958); A. Wolf, *A History of Science, Technology and Philosophy in the 16th and 17th Centuries*, Cilt 1, New York 1959, s. 291 – 305; V. P. Kartsev, *Three Thousand Years of Magnets*, Translated by Ann Feltham, Moscow 1975; J. D. Bernal, *Modern Çağ Öncesi Fizik*, Çeviren Deniz Yurtören, Ankara 1995, s. 132 – 135; Amelia Carolina Sparavigna, "Petrus Peregrinus of Maricourt and the Medieval magnetism", *Mechanics, Material Science and Engineering Journal*, 2, 90 – 97 (2016).

Devrim ile birlikte modern fiziğin gelişen ilk dalı magnetizma olmuştur. Elde edilen bilgiler pusulanın doğru bir biçimde kullanılabilmesini sağlamış ve bunun sonucunda da coğrafi keşifler dönemi başlamıştır. Pusula bilim ve teknoloji arasındaki ilişkilerin başlangıcını oluşturur. Bu alanda teknoloji üretebilmek yani iyi bir pusula yaparak bunu doğru kullanıbılmek için magnetizma alanında bilimsel bilgiye gerek vardır. Mıknatıslar kanusunda ikinci bir çalışma alanı da kuvvetli sürekli mıknatısların yapılmasıdır.



Şekil – 11.2: M.S. 100 yılına ilişkin bir fal tahtası ve mıknatıs taşından (magnetit) yapılmış kaşık. [Bernal, s. 134].

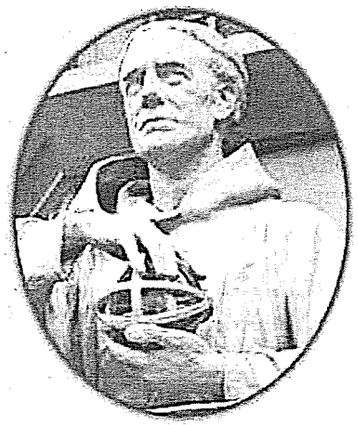


Şekil – 11.3: Pusulanın Çin'deki ilk örneklerinden biri. Arabanın üzerindeki döner figürün kolu daima güneyi gösterir. [Kartsev, s. 20].

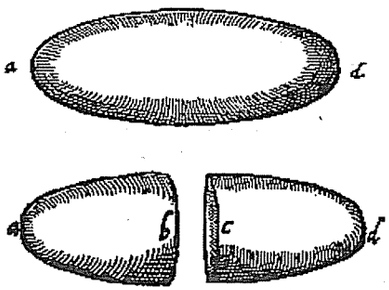
Peter Peregrinus (XIII. yüzyıl)

Fransız Pierre Pèlerin de Maricourt veya Maricourtlu Peter Peregrinus 1269'da yazdığı *Epistola Petri Peregrini de Maricourt ad Sygerum de Foucaucourt, militem, de magnete* [Maricourtlu Petrus Peregrini'den Foucaucortlu asker Sygerus'a mıknatıs üzerine mektup] veya kısaca *Epistola de magnete* adlı kitabında ilk kez mıknatıslar için kutup (pole) terimini kullanmış, aynı kutupların birbirini ittiğini, farklı

kutupların birbirini çektiğini, bir mıknatısın ortadan ikiye bölünmesi durumunda ikişer kutuplu iki mıknatısın oluştuğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, mıknatıs taşına değdirilen uzun demir parçalarının suda yüzen bir tahta parçası üzerine konulduğunda kutbu gösterdiğini yazar. (Şekil – 11.4, 11.5, 11.6 ve 11.7).



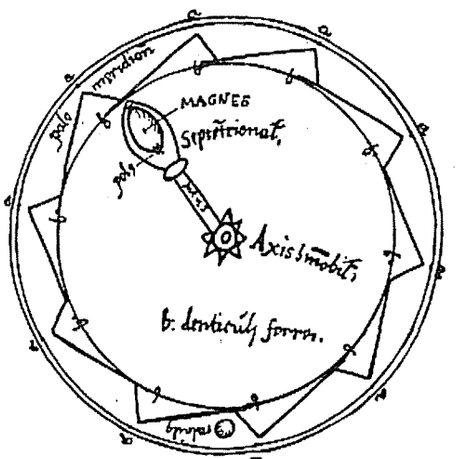
Şekil – 11.4: Maricourtlu Peter Peregrinus.



Şekil – 11.5: Bir mıknatıstan iki mıknatısın oluşumu.

PETRI PEREGRINI
MARICVRTENSIS
De Magnete, seu Rota perpetui motus, libellus,
Diui FERDINANDI Rhomanorum Imperatoris auspicio, per Achillem P: Gasserum L: nunc primum promulgatus,
AVGSBVRGI IN SVEVIS.
Anno Salutis
1558.

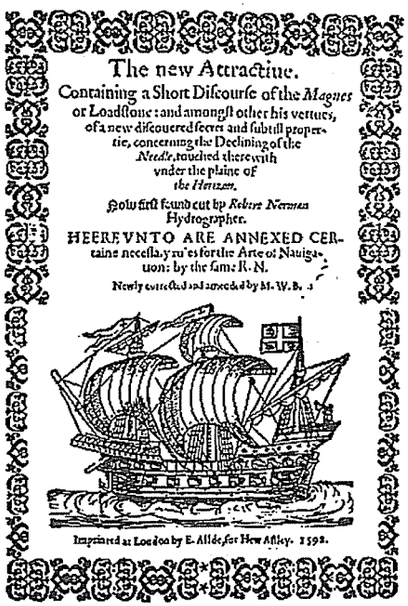
Şekil – 11.6: Peter Peregrinus'un 1558'de yayınlanan *De Magnete, feu Rota perpetut motus, libellus* adlı kitabının kapağı.



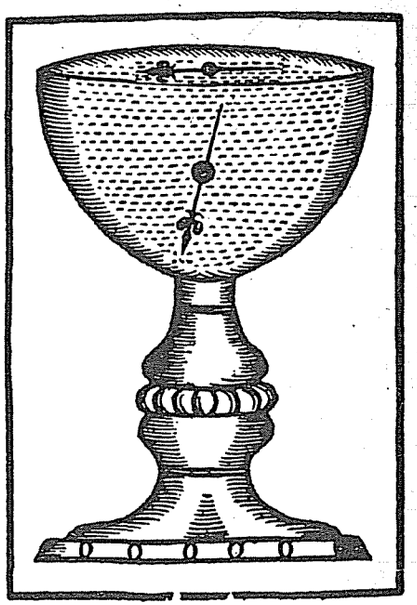
Şekil – 11.7: Peter Peregrinus'un *De Magnete*'sinde bir mıknatıs ile çalıştırılan sürekli hareket makinesi. [Bernal, s. 135].

Robert Norman (1550 – 1600) ve eğilme açısı

Bir denizci olan Robert Norman magnetik eğilme açısını buldu. Pusulada iğnenin eğilmesi iğnenin güney ucuna konulan bir karşı ağırlık ile dengeleniyordu. Robert Norman bunu incelerken magnetik eğilme açısını buldu. Robert Norman buluşlarını *The Newe Attractive* (Londra 1581) ve *The Safeguard of the Saylers* (1590) adlı kitaplarında yayınladı. Norman eğilme açısını "Şarap kadehi deneyi" ile incelemeye başladı. Bir iğneyi bir mantara saplayıp mantarı gitgide küçülterek iğnenin su dolu bir kadehin ortasında yatay konumda yüzmesini sağladıktan sonra sudan çıkartıp bir mıknatıs taşına sürterek mıknatıslayıp yeniden suya koydu. Bu kez iğnenin aşağıdan çekiliyormuş gibi eğildiğini gözledi. (Şekil – 11.8 ve 11.9).


The new Attractiue.
Containing a Short Diſcourſe of the Magnes or Loadſtone: and amongſt other his vertues, of a new diſcouered ſecret and ſubtill propertie, concerning the Declining of the Needle, touched therewith vnder the plaine of the Horizon.
Now firſt found out by Robert Norman Hydrographer.
HEEREVNTO ARE ANNEXED CERtaine neceſſary obſeruations for the Arte of Nauigation: by the ſame R. N.
Newly corrected and amended by M. W. B.
Imprinted at London by E. Allde, for Hew Aſtley. 1592.

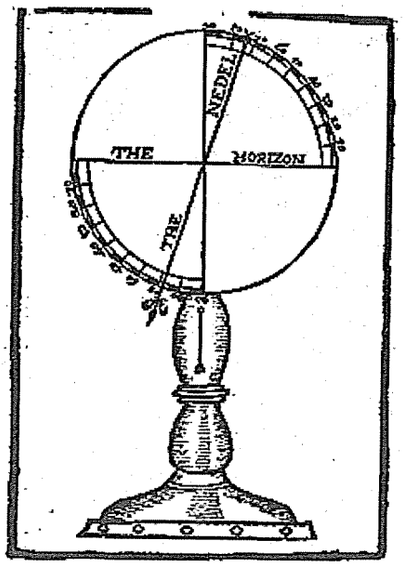
Şekil – 11.8: Robert Norman'ın *The Newe Attractive* adlı kitabının 1592 baskısının kapağı.



Şekil – 11.9: "Şarap kadehi deneyi". Su içinde asılı duran mıknatıslanmış iğnenin eğilmesi. [Harré, s. 50].

Robert Norman daha sonra magnetik eğilme açısını ölçmek için bir düzenek geliştirdi. Bu düzenek taksimatlandırılmış dikey bir çember üzerinde hareket eden yatay bir

eksen üzerine takılmış bir magnetik iğnedir. (Şekil – 11.10). Aynı düzenek daha sonra William Gilbert tarafından geliştirilerek kullanılmıştır.



Şekil – 11.10: Robert Norman'ın magnetik eğilme açısının ölçülmesi için geliştirdiği düzenek. [Harré, s. 46].

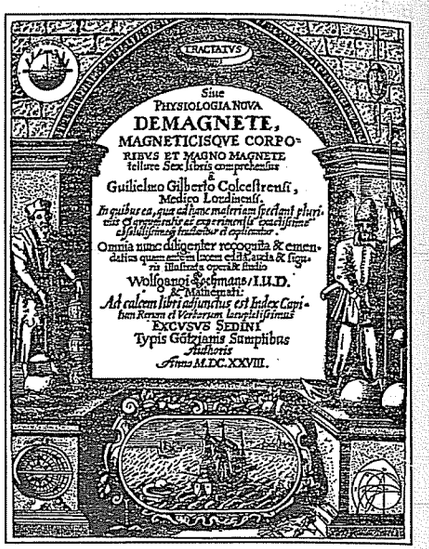
William Gilbert (1544 – 1603) ve *De Magnete*

İngiliz William Gilbert (veya Gilberd; 1544 – 1603)[2] 1600'de yayınlanan ve deneysel fiziğin büyük klasiklerinden biri olan *De Magnete Magneticisque Corporibus et de Mag-no Magnete Tellure Physiologia Nova* (kısaca *De Magnete*) adlı kitabında mıknatısları ve yerin mıknatıslığını ayrıntılı bir biçimde incelemiştir. (Şekil – 11.11, 11.12, 11.13, 11.14, 11.15, 11.16, 11.17, 11.18 ve 11.19). Gilbert mıknatıs taşlarının zırhlanarak nasıl daha güçlü mıknatıslar yapılabileceğini anlatır. Gilbert'e göre çelikten (1) mıknatıs taşına sürterek, (2) bir demir çubuğu dünyanın kuzey – güney doğrultusunda yatay konumda döverek ve (3) demir telleri

2 Colchesterli William Gilbert 1569'da hekim oldu, 1573'de Royal College of Physicians'a üye seçildi, 1581'de yönetici ve 1600'de başkan oldu. Kraliçe I. Elizabeth'in özel hekimi oldu. Hekimliği yanında magnetizma konusunda çalıştı ve "Magnetizmin Galileo'su" olarak anıldı.

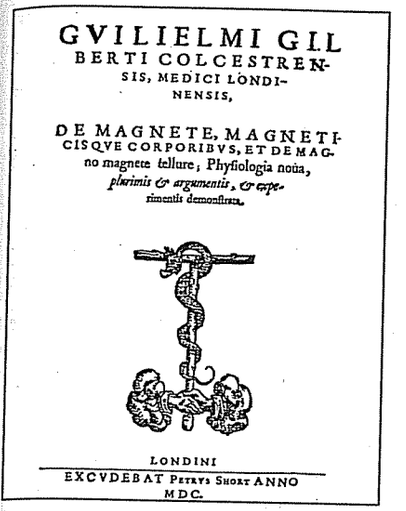
kuzey – güney doğrultusunda çekerek sürekli mıknatıslar yapılabilir. (Şekil –11.18 ve 11.19).

Şekil – 11.11: William Gilbert. (1544 – 1603). [Wolf, s. 192].



Şekil – 11.12: 1600'de Londra'da yayınlanan *De Magnete*'nin kapağı.

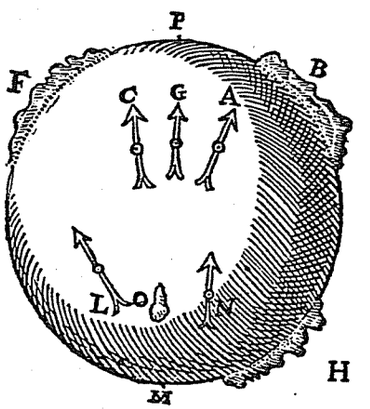
Şekil – 11.13: İngiltere Kraliçesi I. Elizabeth William Gilbert'ın deneylerini izliyor. [Wolf, s. 293].


GVILIELMI GIL
BERTI COLCESTREN-
SIS, MEDICI LONDI-
NENSIS,

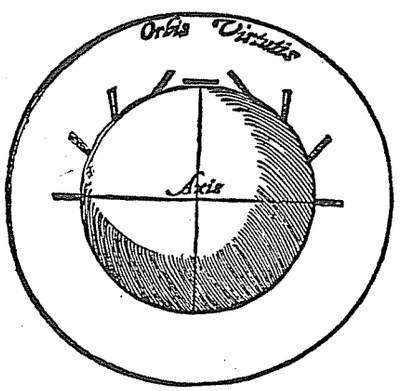
DE MAGNETE, MAGNETI-
CISQVE CORPORIBVS, ET DE MAG-
no magnete tellure; Phyſiologia noua,
plurimis & argumentis, & expe-
rimentis demonſtrata.

LONDINI
EXCVDEBAT PETRVS SHORT ANNO
MDC.

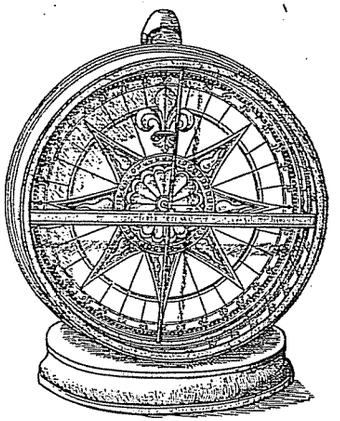
Şekil – 11.14: William Gilbert'in 1600'de Londra'da Latince olarak yayınlanan *De Magnete* adlı kitabının kapak sayfası.



Şekil – 11.15: Üzerinde dağları gösteren demir parçaları bulunan küresel biçimli mıknatıs. Gilbert tarafından pusulanın sapmasını göstermek için kullanılmıştır. [*De Magnete*, s. 238]..



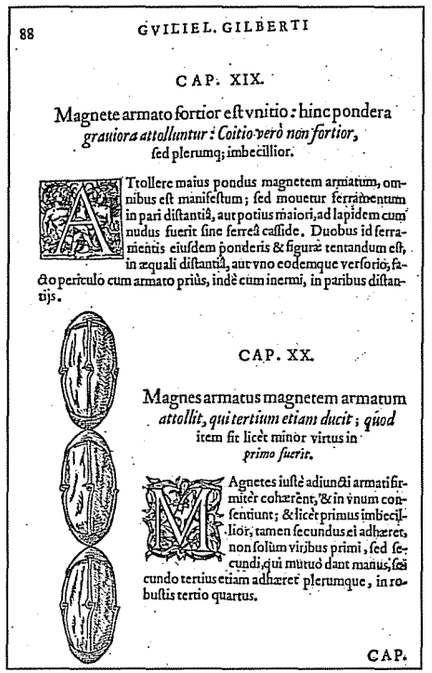
Şekil – 11.16: Pusulanın dünya üzerindeki yerine göre eğilmesi. [*De Magnete*, s. 122].



Şekil – 11.17: Eğilme açısını ölçmek için düzenek. [*De Magnete*, s. 277].

William Gilbert kızıl dereceye kadar ısıtmanın sürekli mıknatıslığı ortadan kaldırdığını, ısıtılan cismin yerin

magnetik alanı doğrultusunda tutularak soğutulması durumunda bu özelliği yeniden kazandığını belirtir.



88 GVILIEL. GILBERTI

CAP. XIX.

Magnete armato fortior est vnitio: hinc pondera *grauiora attolluntur: Coitio verò non fortior,* sed plerumq; imbecillior.

ATrollere maius pondus magnetem armatum, omnibus est manifestum; sed mouetur ferramentum in pari distantiâ, aut potius maiori, ad lapidem cum nudus fuerit sine ferreâ casside. Duobus id ferramentis eiusdem ponderis & figuræ tentandum est, in æquali distantiâ, aut vno eodemque versorio, facto periculo cum armato priùs, indè cum inermi, in paribus distantijs.

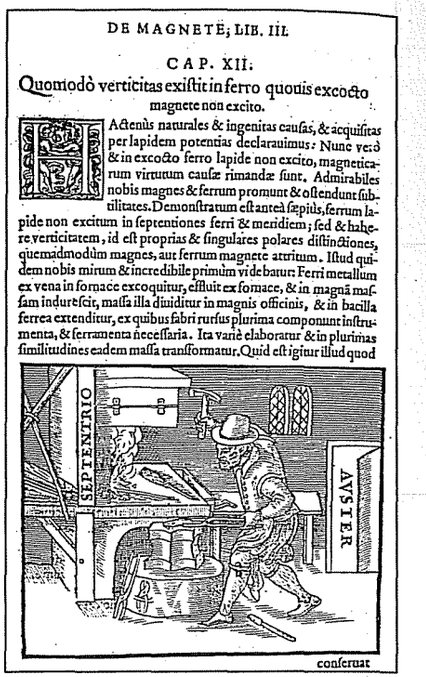
CAP. XX.

Magnes armatus magnetem armatum *attollit, qui tertium etiam ducit; quod* item fit licèt minor virtus in *primo fuerit.*

MAgnetes iustè adiuncti armati firmitèr cohærent, & in vnum consentiunt; & licèt primus imbecillior, tamen secundus ei adhæret, non solùm viribus primi, sed secundi, qui mutuò dant manus, sed cundo tertius etiam adhæret plerumque, in robustis tertio quartus.

CAP.

Şekil – 11.18: Mıknatıs taşlarının üzerine zırh geçirilmesi. [*De Magnete,* s. 139; İlk baskı, s. 88].



DE MAGNETE, LIB. III.

CAP. XII.

Quomodò verticitas existit in ferro quouis excocto magnete non excito.

Actenùs naturales & ingenitas causas, & acquisitas per lapidem potentias declarauimus: Nunc verò & in excocto ferro lapide non excito, magneticarum virtutum causæ rimandæ sunt. Admirabiles nobis magnes & ferrum promunt & ostendunt subtilitates. Demonstratum est anteà sæpiùs, ferrum lapide non excitum in septentiones ferri & meridiem; sed & habere verticitatem, id est proprias & singulares polares distinctiones, quemadmodùm magnes, aut ferrum magnete attritum. Istud quidem nobis mirum & incredibile primùm videbatur: Ferri metallum ex vena in fornace excoquitur, effluit ex fornace, & in magnâ massam indurescit, massa illa diuiditur in magnis officinis, & in bacilla ferrea extenditur, ex quibus fabri rursus plurima componunt instrumenta, & ferramenta necessaria. Ita variè elaboratur & in plurimas similitudines eadem massa transformatur. Quid est igitur illud quod

conseruat

Şekil – 11.19: Bir demir çubuğun yerin magnetik alanı doğrultusunda dövülerek mıknatıslanması. (Seprentio = kuzey ve Auster = güney). [*De Magnete*, s. 212; İlk baskı, s. 160].

Niccolo Cabeo (1586 – 1650)

Niccolo Cabeo (1586 – 1650) bir mıknatıs üzerine konulan bir kâğıt üzerindeki demir tozlarının aldığı konuma *kuvvet çizgileri* [*lineae virtulis*] adını verdi.[3] Cabeo magne-tizma

3 Kuvvet çizgileri konusundaki düşünceler ancak 1831'de Michael Faraday (1791 – 1867) tarafından elektromagnetik indüksiyonun açıklanması ile nicel bir duruma geldi. Faraday bir akımın çevresindeki uzayın kapalı magnetik kuvvet eğrileri ile dolu olduğunu varsaydı. Herhangi bir noktadaki magnetik kuvvetin yönü buradaki eğriye teğettir. Magnetik kuvvetin büyüklüğü bu yöne dik olan birim alandan geçen çizgilerin sayısıyla ölçülür.

konusundaki buluşlarını 1629'da yayınlanan *Philo-sophia Magnetica* adlı kitabında açıkladı. (Şekil –11.20 ve 11.21).

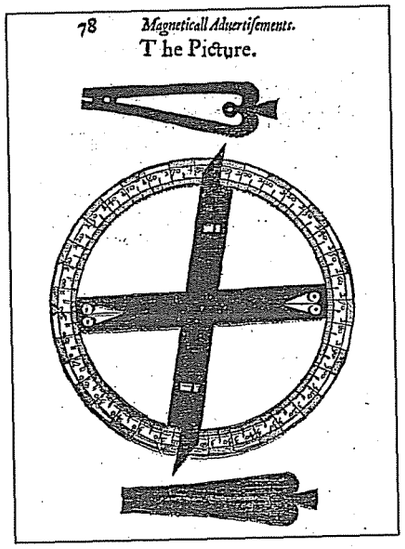
Şekil – 11.20: Niccolo Cabeo. (1586 – 1650).

PHILOSOPHIA
MAGNETICA
IN QVA MAGNETIS
NOVA ETIAM PYXIS
CONSTRVITVR.
AVCTORE NICOLAO CABEO
AD LVDOVICVM XIII.
GALLIARVM,
ET NAVARRÆ REGEM

Şekil – 11.21: Niccolo Cabeo'nun *Philosophia Magnetica* adlı kitabının kapağı.

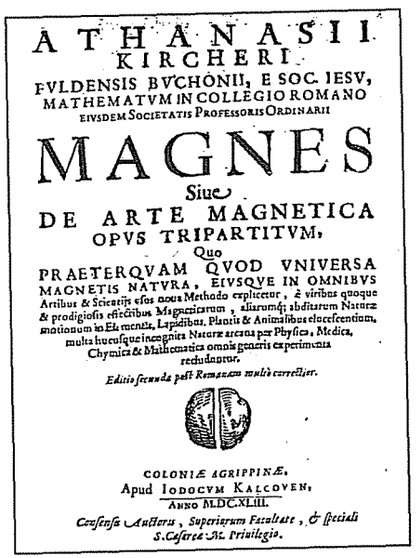
İngiliz William Barlow (veya Barlowe; 1544 – 1625) tarafından navigasyon konusunda pratik bilgileri içeren *Magnetical Advertisements* (London, 1613 ve 1616) adı altında çok tutulan bir kitap yayınlanmıştır. (Şekil – 11.22).

Alman Cizvit papaz Athanasius Kircher (1602 – 1680) 1641'de Roma'da Latince olarak *Magnes, sive de arte magnetica* adı altında mıknatıslık konusunda çok kapsamlı bir kitap yayınlamıştır. (Şekil – 11.23, 11.24 ve 11.25).

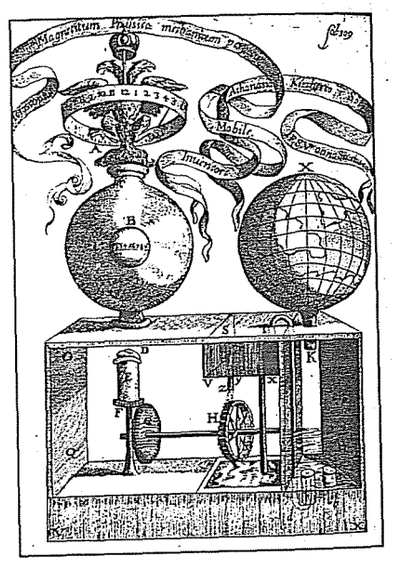

78 *Magneticall Aduertiſements.*
The Picture.

Şekil – 11.22: İngiliz William Barlow'un *Magnetical Advertisements* adlı kitabından.

Şekil – 11.23: Athanasius Kircher. (1602 – 1680).


ATHANASII
KIRCHERI
FVLDENSIS BVCHONII, E SOC. IESV,
MATHEMATVM IN COLLEGIO ROMANO
EIVSDEM SOCIETATIS PROFESSORIS ORDINARII
MAGNES
Siue
DE ARTE MAGNETICA
OPVS TRIPARTITVM,
Quo
PRAETERQVAM QVOD VNIVERSA
MAGNETIS NATVRA, EIVSQVE IN OMNIBVS
Artibus & Scientijs eius nouo Methodo explicatur, è viribus quoque
& prodigiosis effectibus Magnetismorum, aliarumq; abditarum Naturæ
mationum in Elementis, Lapidibus, Plantis & Animalibus elucescentium,
multa hucusque inexpiata Naturæ arcana per Physicen, Medicam,
Chymicen & Mathematica omnis generis experimenta
reducuntur.
Editio secunda post Romanam multò correctior.
COLONIÆ AGRIPPINÆ,
Apud IODOCVM KALCOVEN,
ANNO M.DC.XLIII.
Cum Censura Auctorum, Superiorum Facultate, & speciali
S. Cæsareæ M. Privilegio.

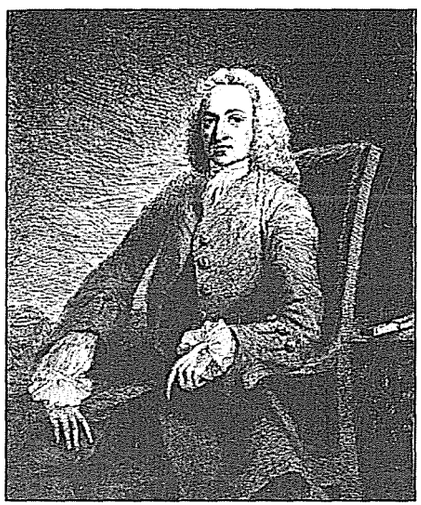
Şekil – 11.24: Athanasius Kircher'in kitabının kapak sayfası.



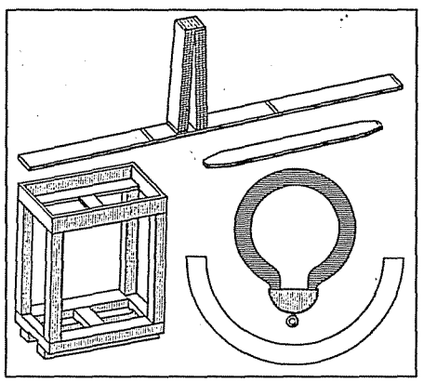
Şekil – 11.25: Athanasius Kircher'in kitabından bir levha.

Sürekli mıknatısların elde edilmesi

Sürekli mıknatısların elde edilmesinde, 1825 yılında elektromıknatıs bulununcaya kadar, temel olarak William Gilbert'in belirttiği üç yöntem kullanılmıştır. XVIII. yüzyılda Gowin Knight (1713 – 1772), John Canton (1718 – 1772) ve John Michell (1724 – 1793) sürekli mıknatıs yapımı ile uğraşmışlardır. Gowin Knight, demiri suda oksitleyerek elde ettiği demir oksidi bezir yağı ile hamur edip biçimlendirdikten sonra orta ateşte pişirerek elde ettiği blokları mıknatıslayarak kuvvetli mıknatıslar elde etmiştir. Yöntemini bir sır olarak saklamış ve ölümünden sonra 1779'da Benjamin Wilson tarafından yayınlanmıştır. (Şekil – 11.26, 11.27, 11.28, 11.29, 11.30 ve 11.31)



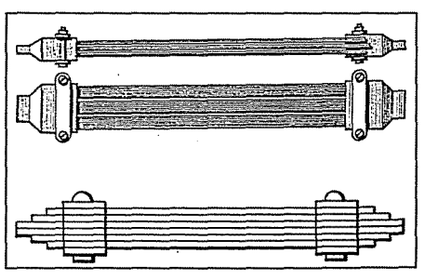
Şekil – 11.26: Gowin Knight. (1713 – 1772).



Şekil – 11.27: John Michell'in (1724 – 1793) *Treatise on Artificial Magnets* (1750) adlı kitabından çift değdirme ile mıknatıslama yöntemi. [Andrade, s. 28].

Şekil – 11.28: W. Scoresby'nin 1832'de geliştirdiği sürekli mıknatısı. Çelik mıknatıs levhaları iki uçta demir ile birleştirilmiştir. [Andrade, s. 29].

Şekil – 11.29: Nobili'nin geliştirdiği farklı uzunluklarda levhalardan oluşan mıknatısı. [Andrade, s. 29].



SUITE DE L'HISTOIRE DES MINÉRAUX.

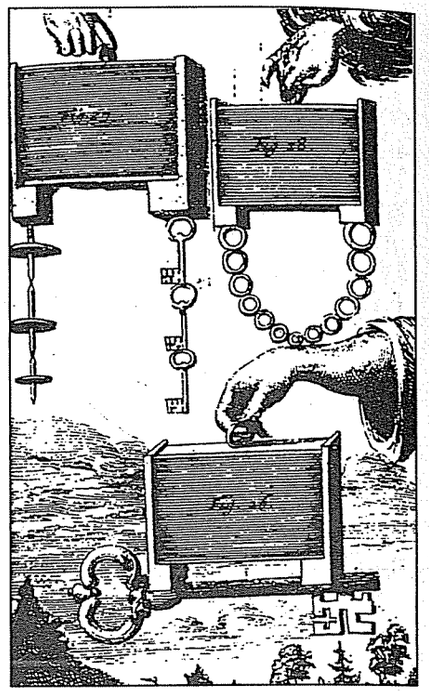
TRAITÉ
DE L'AIMANT
ET DE SES USAGES.

ARTICLE PREMIER.

Des forces de la Nature en général, & en particulier de l'Electricité & du Magnétisme.

IL N'Y A DANS LA NATURE qu'une seule force primitive; c'est l'attraction réciproque entre toutes les parties de la matière. Cette force n'est qu'une puissance Aimant. A

Şekil – 11.30: Delancé'nin 1691'de Liege'de basılmış olan *Traité de l'Aimant* adlı kitabının başlangıç sayfası.



Şekil – 11.31: Delancé'nin kitabında zırhlanmış mıknatıs taşları. [Andrade, s. 25].

1938'de Japonya'da Yogoro Kato ile Takeshi Takei Knight'ın yöntemini kullanarak sürekli mıknatıslar elde etmişlerdir. (Şekil – 11.32). Bunlardan 53 g lık bir tanesi kendi ağırlığının 28 katı, 435 g lık bir tanesi kendi ağırlığının 12 katı ve 620 g lık bir tanesi de kendi ağırlığının 14 katı ağırlık kaldırabilmektedir.

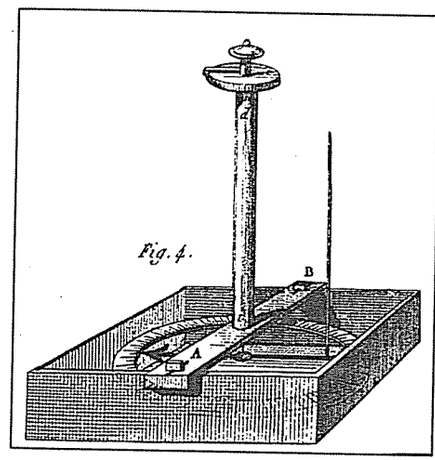
Magnetik çekim yasası

Magnetik kutuplar arasındaki çekme ve itme kuvvetleri ile ilgili ters kare yasası 1750'de John Michell (1724 – 1793) tarafından kabaca elde edilmiş ve Fransız fizikçi ve mühendis Charles Augustin Coulomb (1736 – 1806) tarafından burulma

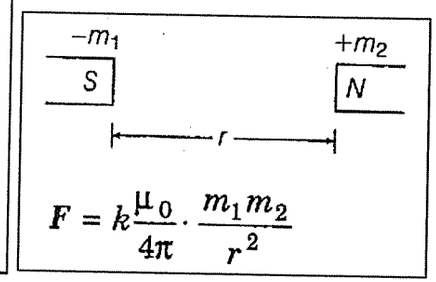
terazisi kullahılarak 1785'de kesin olarak ortaya konulmuştur. (Şekil – 11.33, 11.34 ve 11.35).

Şekil – 11.32: Yogoro Kato (solda) ve Takeshi Takei (sağda).

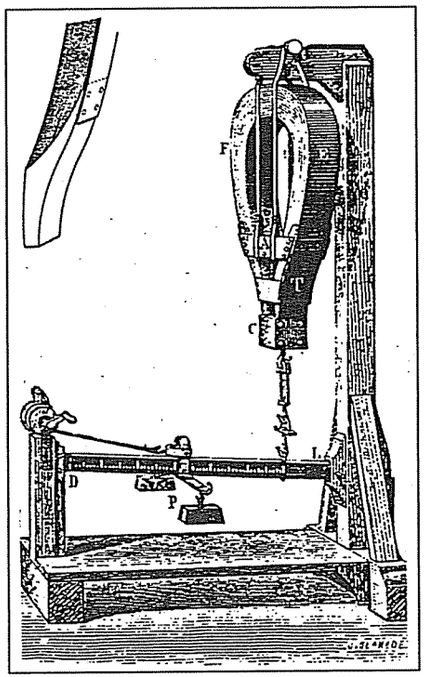
Şekil – 11.33: Charles Augustin Coulomb. (1736 – 1806).



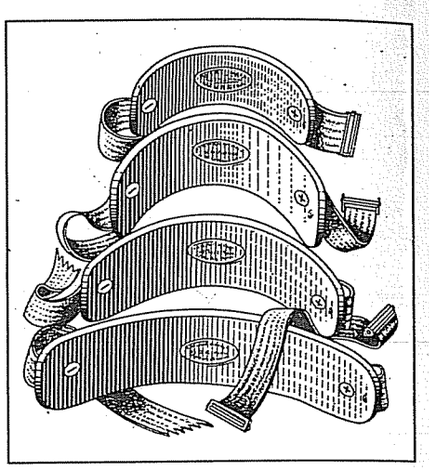
Şekil – 11.34: Charles Augustin Coulomb'un magnetik kutuplar arasındaki çekme ve itme ilişkisini ortaya koyarken kullandığı burulma terazisi.



Şekil – 11.35: Magnetik kutuplar arasındaki çekme ve itme kuvvetini veren Coulomb yasası.



Şekil – 11.36: 1873'de J. C. Jamin tarafından yapılan dünyanın en güçlü sabit mıknatısı. Mıknatısın ağırlığı 50 kg olup 500 kg lık bir yükü kaldırabilmekteydi. [Andrade, s. 26].



Şekil – 11.37: XIX. yüzyılda magnetik alanların tedavi edici özelliğinin olduğunun ileri sürülmesi üzerine bele takılmak üzere çeşitli boylarda üretilmiş magnetik kemerler. [Kartsev, s. 39].

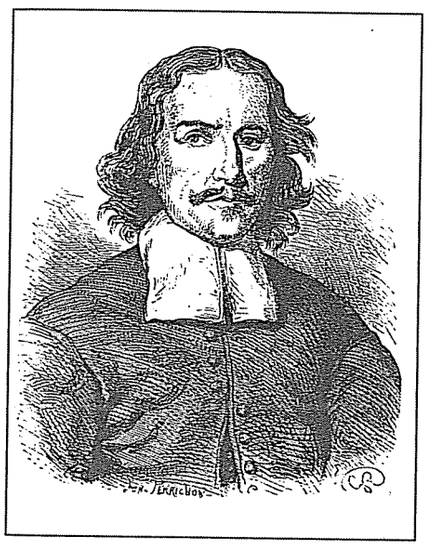
STATİK ELEKTRİK

Sürtünme ile elektriklenme

Bir fosil reçine olan kehribarın bir pöstekiye sürtüldüğünde saman parçası gibi cisimleri çekme özelliği kazandığından ilk kez M.Ö. VI. yüzyılda Thales (M.Ö. 625 – 545) söz etmiştir. Daha sonraları cam çubukların da benzer özellik gösterdikleri saptanmış olmakla birlikte bu konuda Ortaçağ sonrasına kadar herhangi bir çalışma ve incelemenin yapılmadığı görülmeketdir.

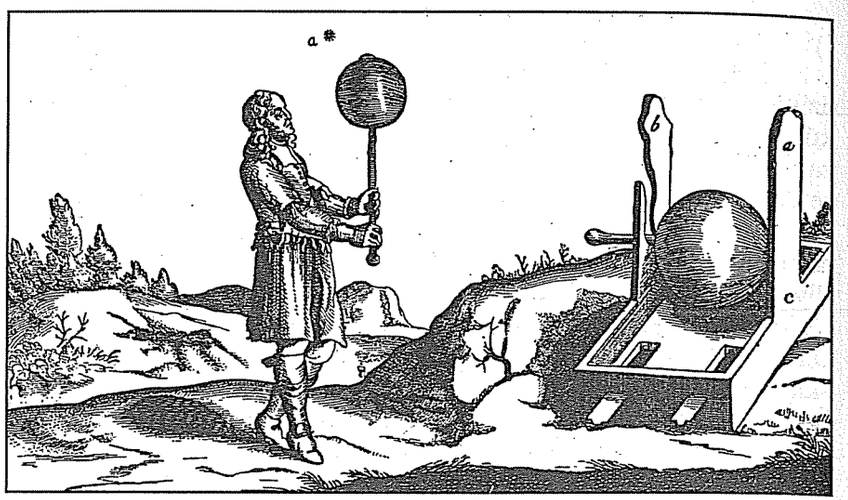
Otto von Guericke (1602 – 1686)

Magdeburg'lu Otto von Guericke 1640'lı yılların sonunda fizikle ilgilenmeye başladı. (Şekil – 11.38). Guericke 1660'da kükürtten yaklaşık 15 cm çapında döner bir kükürt küresi yaptı. Bunun için bir cam küreye kükürt tozu doldurarak eritti ve daha sonra kükürt donunca camı kırarak elde ettiği kükürt kürenin ortasına demir bir eksen geçirdi ve eksene bir kol takarak küreyi iki yatak arasına yerleştirdi. Küreyi çevirip eliyle sürterek elektriklediğinde çıtırtılar ve pırıltılar çıktığını gözlemiş olmakla birlikte bu konuyla çok fazla ilgilenmedi. Bu deneyden 1672'de yayınlanan *Experimenta Nova (ut vocan-ter) Magdeburgica de Vacuo Spatio* adlı eserinin IV. kitabın-da söz etti. (Şekil – 11.39 ve 11.40). Guericke elekteriklenmiş cisimlerin birbirlerini çektiklerini veya ittiklerini de gözledi.



Şekil – 11.38: Otto von Guericke. (1602 – 1686).

Şekil – 11.39: Guericke'nin 1672'de yayınlanan *Experimenta Nova* adlı kitabının kapağı.

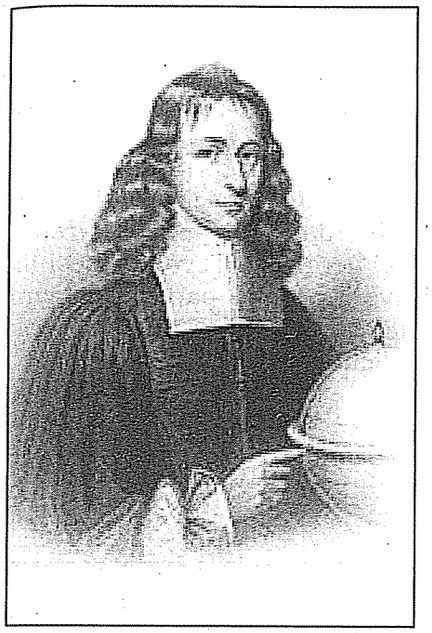


Şekil – 11.40: Otto von Guericke tarafından 1660 yılında yapılan ve bir eksen çevresinde dönen bir kükürt küreden oluşan elektrik makinesinin *Experimenta Nova*'daki resimleri.

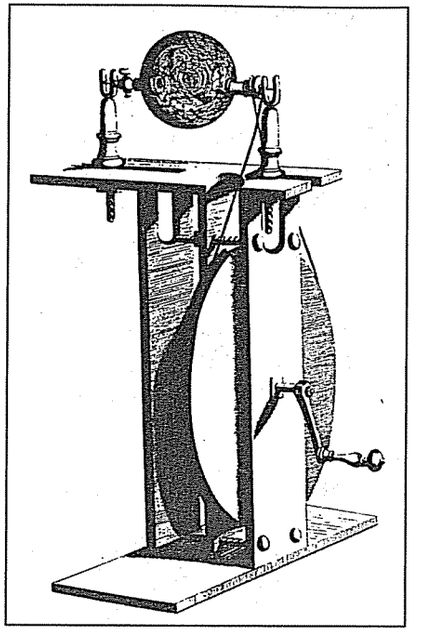
Otto von Guericke kendisiyle yazıştığı Frankfurt'da bulunan Gottfried Wilhelm Leibniz (1646 – 1716) için de bir kükürt küre yaparak gönderdi. Bu küre ile deneyler yapan Leibniz karanlıkta oluşan elektrik kıvılcımlarını gözledi. Otto von Guericke elektrik konusunda öncü çalışmalar yapmış olmakla birlikte bu konu ile fazla ilgilenmeyerek ilgisini açık hava basıncı ve vakum konusunda yoğunlaştırdı.

Francis Hauksbee (1666 – 1713)

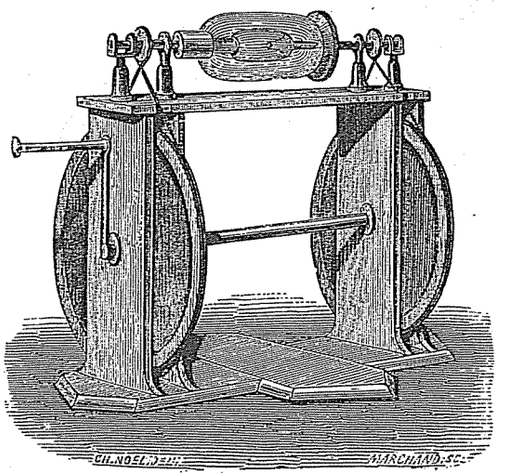
Otto von Guericke'den otuz yıl kadar sonra 1705'de Londra'da Francis Hauksbee (Hawsbee; 1666 – 1713) bir barometre boşluğundaki cıvanın hareketi sırasında bir ışıldama olduğunu gözledi ve bunun nedeninin cıvanın cama sürtünmesi olduğunu söyleyerek olayın doğru açıklamasını verdi. (Şekil – 11.41). Francis Hauksbee döner bir cam küreden oluşan bir elektrik makinesi de yaptı. (Şekil – 11.42 ve 11.43). 1705'de bu makinenin küresine biraz cıva koyarak vakum uyguladı ve ardından camı dıştan sürterek elektriklediğinde parlak bir ışık elde etti. Bu deney gaz deşarj lambalarının temelini oluşturur.



Şekil – 11.41: Francis Hauksbee. (1666 – 1713).



Şekil – 11.42: Francis Hauksbee'nin içi boş cam küreden oluşan elektrik makinesi. [Turner, s.29].

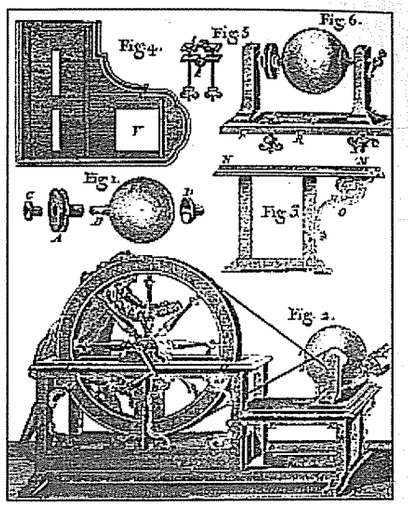


Şekil – 11.43: Francis Hauksbee'nin içteki ve dıştaki içi boş cam silindirlerin farklı yönde döndüğü ikinci elektrik makinesi.

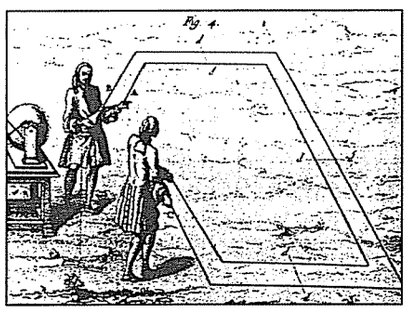
Jean Antoine Nollet (1700 – 1770)

Bir Katolik papazı olan ve bu nedenle Abbé Nollet olarak da anılan Jean Antoine Nollet (1700 – 1770) elektrik yüklü raflara ve kafeslere bitki ve hayvanlar koyarak elektriğin canlı organizmalara etkisi konusunda deneyler yaptı. (Şekil – 11.44 ve 1.45). Elektriğin iletim hızını saptayabilmek için 1746'da iki yüz papazı çevresi 1,6 km olan bir daire biçiminde dizerek ellerine halka şeklinde bir demir tel verdi. Bir Leyden şişesi ile demir telin bir ucundan elektrik verince tüm papazların aynı anda şoka uğradıklarını gözleyerek elektriğin iletim hızının çok yüksek olduğunu ortaya koydu. (Şekil – 11.46, 11.47, 11.48, 11.49, 11.50 ve 11.51).

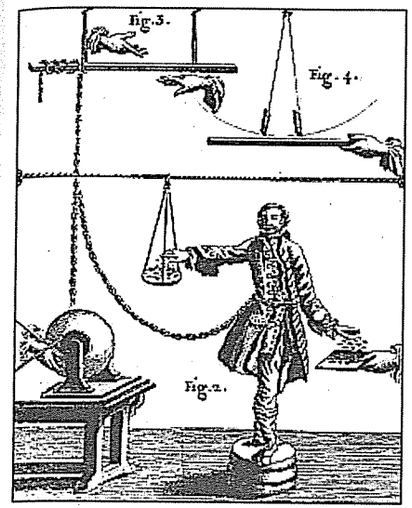
Şekil – 11.44: Jean Antoine Nollet. (1700 – 1770).



Şekil – 11.45: Jean Antoine Nollet'nin elektrik makinesi.

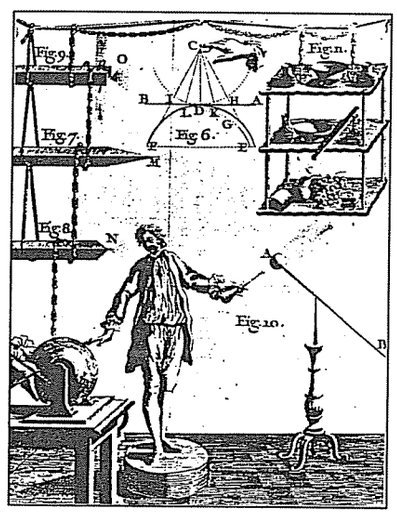


Şekil – 11.46: Jean Antoine Nollet'nin elektriğin çok hızlı olarak iletildiğini gösteren deneyi.



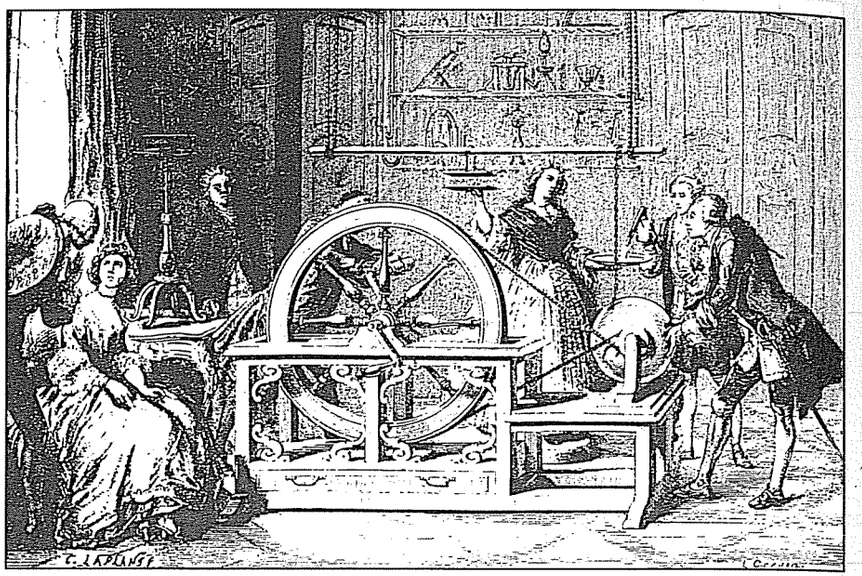
Şekil – 11.47: Nollet'nin elektriğin çeşitli etkilerini gösteren deneyleri.

Şekil – 11.48: Nollet'nin elektriğin akan su ve canlılar üzerine etkisini gösteren deneyi. (1749). Su elektrikli zincire doğru saparken bitkiler hızla büyür, kedi ve güvercinler ağırlık kaybeder.



Şekil – 11.49: Nollet'nin elektriğin çeşitli maddeler ve sebzeler üzerine etkisini gösteren deneyi. (1749).

Şekil – 11.50: Nollet'nin "elektrikli oğlan" deneyi. Yalıtkanlarla havada asılı bir bedenin elektrikle yüklenmesi. (1745).



Şekil – 11.51: Nollet'nin elektrik makinesi ile yaptığı bir salon gösterisi.

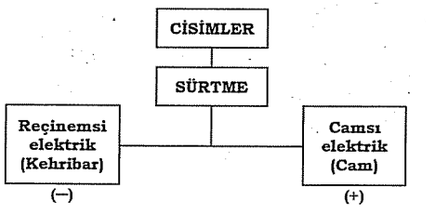
Charles François du Fay (1698 – 1739)

Paris'de Jardin de Plantes [Botanik Bahçesi]'nde yönetici olan Charles François de Cisternay du Fay (1698 – 1739) cam ve kehribarın sürtme ile farklı elektriklerle yüklendiklerini ve bunun sonucunda iki farklı tür elektriğin varolduğunu ileri sürdü. (Şekil – 11.52 ve 11.53). Statik elektrikle yüklü cisimler arasındaki bütün itme ve çekmelerin nedeni buydu. Buluşları konusunda altı tane makale yayınladı.

Birbirinden farklı türde iki çeşit elektrik vardır ve bunlar camsı (pozitif) ve reçinemsi (negatif) elektrik olarak adlandırılabilirler. Birincisi cam, değerli taşlar, kaya kristali (silisyum dioksit), yün ve başka cisimlerle ve ikincisi de ipek, kâğıt, kehribar, reçine ve benzeri maddeler ile ilişkilidir. Bu iki tür elektriğin özellikleri birbirlerini çekmeleri ve kendilerinden olanları itmeleridir. Böylece camsı elektrikli bir cisim bütün öteki camsı elektrikli cisimleri iter buna karşılık reçinemsi elektrikli cisimleri ise çeker. Bunun karşıtı olarak reçinemsi

bir cisim camsı maddeleri çeker ve kendi türünden öteki cisimleri iter.

Şekil – 11.52: Charles François de Cisternay du Fay. (1698 – 1739).



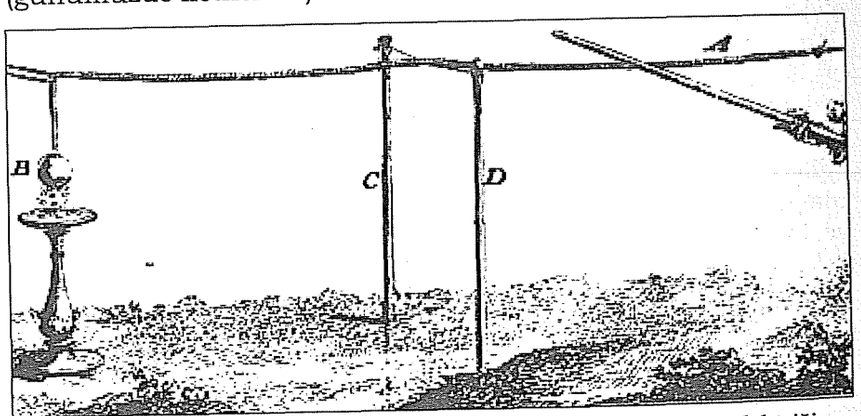
Şekil – 11.53: Du Fay'a göre sürtme ile oluşan iki farklı tür elektrik.

Stephen Gray (1666 – 1736) ve elektriğin iletimi

Isaac Newton'un öğrencisi ve izleyicisi olan Stephen Gray (1666 – 1736) 1729'da Londra'da yaptığı deneyler sonucunda elektriğin iletimi ile ilgili önemli bir buluş yaptı. (Şekil – 11.54). Otto von Guericke ve Francis Hauksbee'nin deneylerinden etkilenen Gray elektrik iletimi ile ilgili rastlantısal bir buluşun ardından konuya sistematik olarak eğilerek bir elektrostatik makine yardımıyla bir dizi deney yaptı. Sürtünme ile elde edilen elektriğin uzun mesafelere iletilebileceği sonucuna ulaştı. İlk deneyinde bir cam boruyu sürtünme ile elektrikledi ve bunun iki ucuna yerleştirdiği mantarların küçük kâğıtları çektiğini gözledi. Mantarların ucuna sopalar, sopaların ucunu küreler ve daha sonra telle bağlanmış küreler taktı ve bunların tümünün elektriklenerek kâğıt parçalarını çektiğini gözledi. Elektriği ipek ilmiklere astığı 764 feet (233 m) uzunluğunda iletken bir tel yoluyla odasından dışarı çıkardı ve bütün bahçeyi dolaştırarak yeniden odasına getirdi. (Şekil – 11.55).

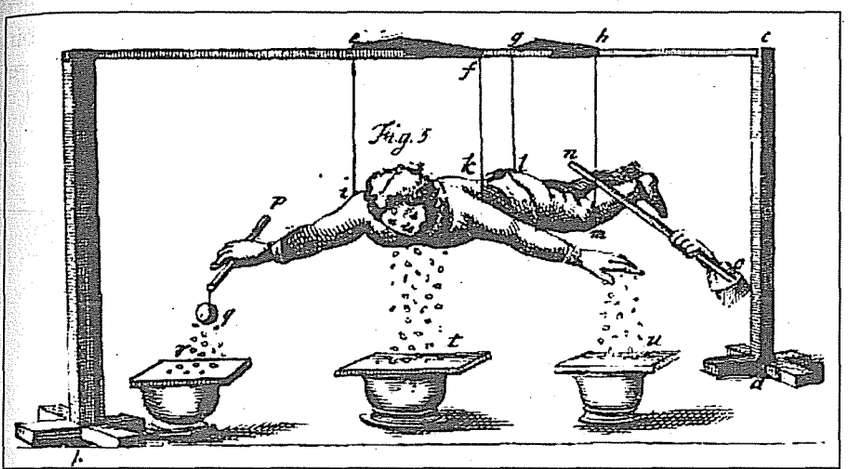
Şekil – 11.54: Stephen Gray. (1666 – 1736).

Gray yaptığı bu deneyler sonucunda elektriği "maddesel herhangi bir değişim ve hareket olmadan bir yerden başka bir yere akabilen *ölçüye gelmez bir akışkan*" olarak tanımladı. Maddeleri ikiye ayırdı. Üretilen elektriğin içinde muhafaza edildiği yani akmadığı cam ve ipek gibi cisimlere *elektrikler* (günümüzdeki adıyla yalıktkanlar) ve elektrik üretmeyip elektriğin içinden geçtiği metallere de *non-elektrikler* (günümüzde iletkenler) adını verdi.

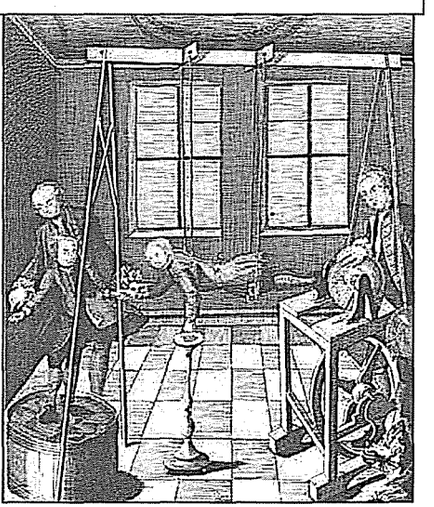


Şekil – 11.55: Yalıtkan ipek ipliklere asılı kenevir ip üzerinden elektriğin iletilmesi.

Gray sürtünme ile elektriklenen kâğıt, saç, ipek, kuş tüyü gibi çok sayıda yeni malzeme ile elektriklenmiş bir cismin yakınındaki başka bir cismi elektriklediğini yani etki ile elektriklenme olayını buldu. Elektrik iletimi ve yalıtımı konusundaki buluşlarını açıklayan makalesini 1720'de Royal Society'nin *Philosophical Transactions* adlı dergisinde yayınladı. Gray 1730'da ünlü deneyini yaptı. Yalıtılmış bir insan elektrikle yüklendiğinde parmak uçları ve saçlarından kıvılcımlar çıkmaktaydı. Bu deney kısa sürede toplantılarda yapılan bir eğlence deneyi haline geldi. (Şekil – 11.56 ve 11.57).



Şekil – 11.56: Saçtan örülmüş yalıtkan iplerle yatay olarak asılmış olan Stephen Gray'in hizmetçisinin elektriklenmesi ile ilgili olarak 8 Nisan 1730'da yapılan deney.

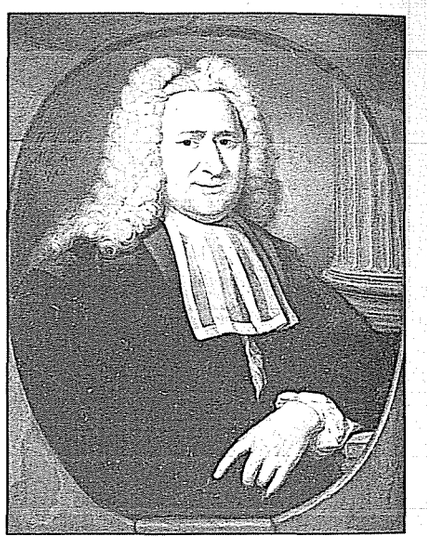


Şekil – 11.57: Gray'in insanın elektriklenmesi deneyinin 1743'de Christian Hausen tarafından yapılan çizimi.

Leyden Şişesi ve elektriğin depolanması

Alessandro Volta'nın doğduğu 1745 yılında elektrik tarihinin çok önemli buluşlarından biri olan Leyden Şişesi bulundu. Küçük bir Pomerania kenti olan Camin'de 11 Ekim 1745'de Ewald Jürgen Georg von Kleist (1700 – 1748) (Şekil – 11.58) ve bundan birkaç ay sonra 1746 yılı başlarında Hollanda'daki Leyden Üniversitesi'nde fizik profesörü olan Pieter (Petrus) van Musschenbroeck (1692 – 1761) (Şekil – 11.59) birbirlerinden habersiz olarak elektriği şişelerde toplamak için benzer deneyler yaptılar. Elektrikle yüklenmiş cisimlerin yüklerini açık havada kısa sürede kaybetmeleri konusundaki gözlemler bu çalışmalara yol açtığı gibi bir akışkan olan elektriğin diğer sıvı akışkanlar gibi bir şişeye doldurulabileceği düşüncesi de çalışmaları yönlendirdi. (Şekil – 11.60)

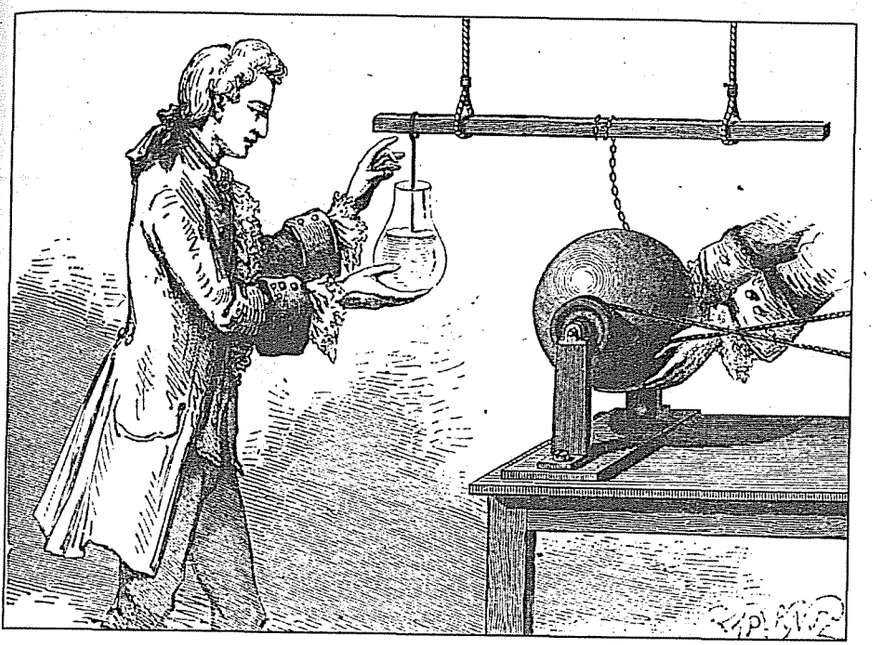
Şekil – 11.58: Ewald Jürgen Georg von Kleist. (1700 – 1748).



Şekil – 11.59: Pietter (Petrus) van Musschenbroeck. (1692 – 1761.

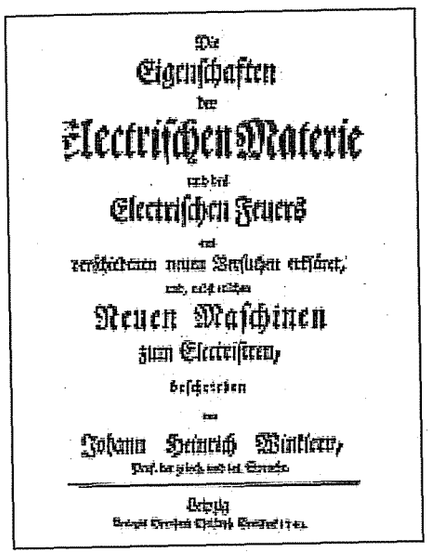
Leyden şişesi içinde biraz cıva bulunan bir şişe ile şişenin mantarından geçen ve bir ucu cıvaya batan bir telden oluşuyordu. Önceleri cıva yerine su kullanılmıştır. Şişe bir elle Tutulup ucu mantardan dışarı çıkan tel bir elektrik

makinesine bağlanıp şişe doldurulduktan sonra öbür elle tutulduğunda elektriğin deşarjı sonucunda kuvvetli bir şok ortaya çıkıyordu. Von Kleist yaptığı deneyde alkolü tutuşturacak kadar şiddetli bir kıvılcım elde etmişti.



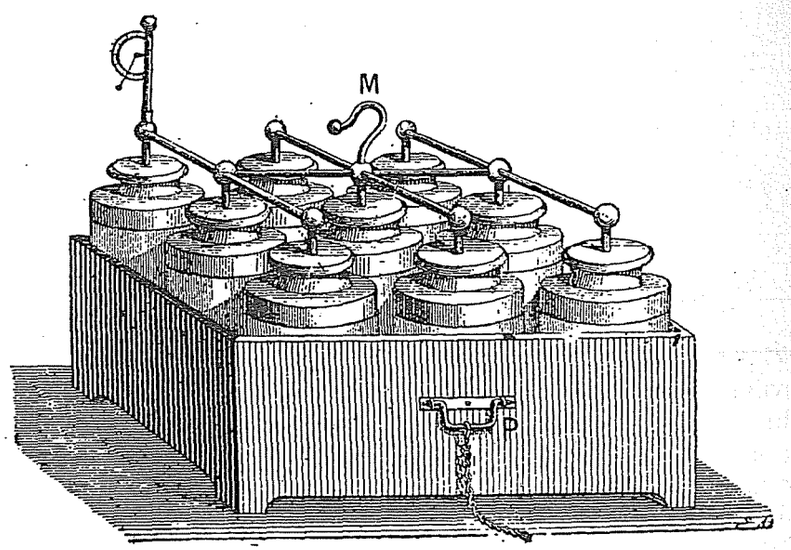
Şekil – 11.60: Pieter van Musschenbroeck'ün Leyden şişesi deneyi. Döner bir cam kürede oluşan elektrik zincirle iletiliyor ve asistan Andreas Çunaeus'un elindeki su dolu şişede toplanıyor. Bir elektrik yükü suda ve bunun karşıtı yük de elinde olduğundan eliyle tele dokunduğu anda elektrik şoku oluşur.

Bu buluş konusunda ilk bilimsel makale 1746 yılı Eylül ayında Leipzig'de Johann Heinrich Winkler (Winckler; 1703 – 1770) tarafından yayınlandı. (Şekil – 11.61). Şişeye farklı sıvılar konularak deneyler yapıldı. Başlangıçta, sıvılarda olduğu gibi şişenin hacmı büyüdükçe etkinin artacağı yani daha fazla elektriğin toplanabileceği düşünülerek büyük kaplarla deneyler yapıldı ise de sonuç başarısız oldu. 1746 yılının sonunda Alman fizikçi Daniel Gralath (1708 – 1767) (Şekil – 11.62) ve Winkler aynı anda bir dizi Leyden şişesinin paralel bağlanması durumunda etkinin arttığını buldular. (Şekil – 11.63).


Die
Eigenschaften
der
Electrischen Materie
und des
Electrischen Feuers
und
verschiedenen neuen Versuchen erklärt,
und, nebst solchen
Neuen Maschinen
zum Electrisiren,
beschrieben
von
Johann Heinrich Winklern,
Prof. der gesch. und lat. Sprache.
Leipzig

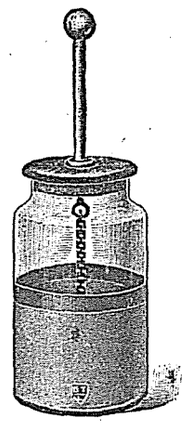
Şekil – 11.61: Johann Heinrich Winkler'in kitabının kapağı.

Şekil – 11.62: Daniel Gralath. (1708 – 1767).

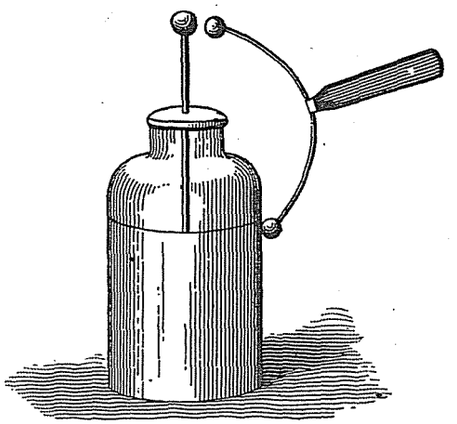


Şekil – 11.63: Leyden şişelerinin paralel bağlanmasıyla oluşturulmuş bir batarya.

Royal Society'nin sekreteri olan İngiliz astronom John Bevis (1695 – 1771) bir Leyden şişesindeki yükün içindeki sıvının hacmının artması ile orantılı olarak artmadığını, buna karşılık şişenin sıvı tarafından ıslatılan yüzeyinin alanı ile orantılı olarak arttığını ilk kez ortaya koydu. Leyden şişesinde denenen sıvıların iyi iletkenler olduğundan yola çıkarak bir metalin sıvı kadar etkin olacağını düşünerek şişenin içini ve dışını kalay levha ile kapladı. Bunun ardından 1747'de çok sayıda farklı ve daha etkin sistemler yapıldı ve böylece kondansatör bulunmuş oldu.[4] (Şekil – 11.64 ve 11.65). Herkes Leyden şişesinin verdiği elektik şokunu denemeye girişti ve elektrik bir saray modası oldu.



Şekil – 11.64: Bir Leyden şişesi.



Şekil – 11.65: Bir Leyden şişesinin deşarj edilerek boşaltılması.

Leyden şişesinin bir elektrik makinesinden daha uygun bir biçimde ve daha fazla elektrik enerjisini depo ederek kullanılabilir hale getirmesi elektrik alanında önemli adımların atılmasını sağladı. 1729'da Gray 765 feet uzunluğunda bir telden elektriği iletmişken 1746'da İtalyan Gazola Leyden şişesini kullanarak bunu üç katına çıkardı. Kısa bir süre sonra İngiliz William Watson (1715 – 1787) iletken devreyi bir mile çıkardı. (Şekil – 11.66). Bunun için bir demir teli 3 feet

4 Kondansatörler aralarında bir yalıtkan bulunan iki iletken levhadan oluşur.

(91,5 cm) boyunda çubuklar üzerine tutturarak yere değmesini önledi. Leyden şişesi, elektriğin bir şişe içinde nasıl toplandığı sorusunu gündeme getirdi ve bunun sonucunda yeni hipotez ve teoriler üretldi.

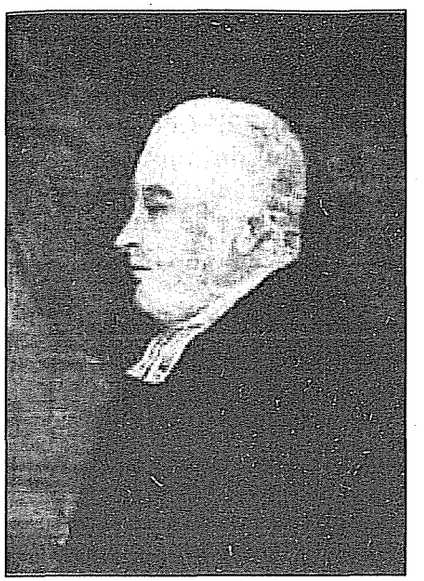
Elektroskop

Padua Üniversitesi'nde mantık profesörü olan Girolamo Fracastoro (1478 – 1553) 1546'da elektriğin etkisini daha görünür bir biçime getirmek için bir tür elektroskop yaptı. Bu bir cam şişe içine bir ipek iplikle asılmış metalik bir iğneden oluşuyordu. Önceden elektrik yüklenmiş bir cisim şişenin yakınında ileri geri harket ettirildiğinde igne bir yandan öte yana döner. Bu buluş daha sonra 1600'de William Gilbert (1544 – 1603) tarafından geliştirildi.

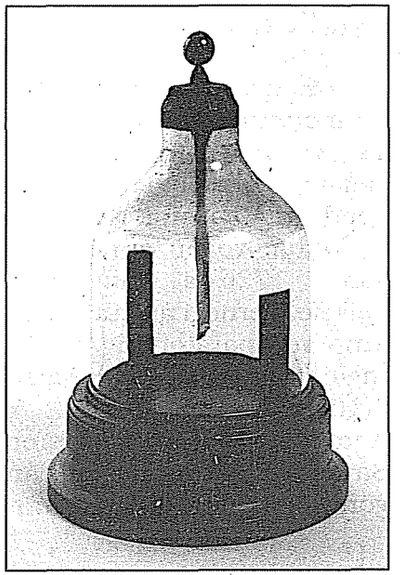
John Canton (1718 – 1772) 1754'de ipek iplikle asılı benzer yüklü kürelerin birbirini itmesiyle elektriğin ölçülebileceğini ortaya koydu. (Şekil – 11.67). Bu yöntem daha sonra Alessandro Volta (1745 – 1827) tarafından standardize edildi. 1786'da Abraham Bennet (1749 – 1799) tarafından altın yapraklı elektroskop yapıldı. (Şekil – 11.68, 11.69, 11.70 ve 11.71).

Şekil – 11.66: William Watson. (1715 – 1787).

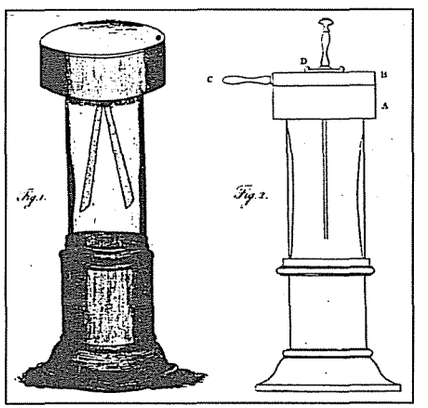
Şekil – 11.67: John Canton. (1718 – 1772).



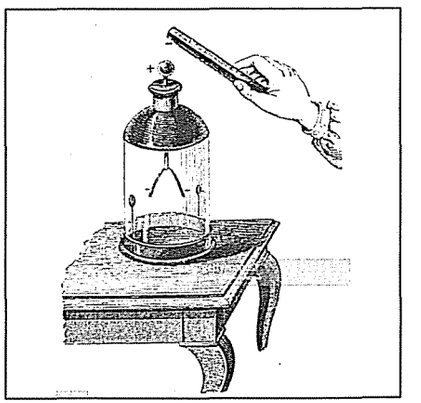
Şekil – 11.68: Abraham Bennet. (1749 – 1799).



Şekil – 11.69: Altın varaklı elektroskop. Taban çapı 15 cm ve yükseklik 21 cm. [Museo Galileo, XVIII. yüzyıl sonu].



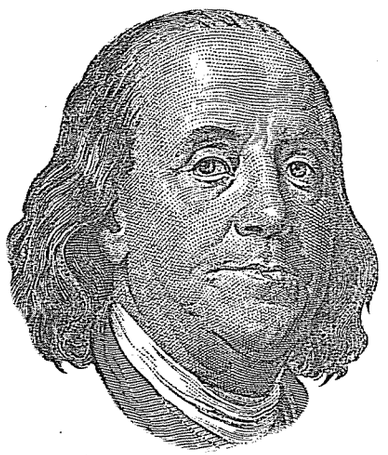
Şekil – 11.70: Altın varaklı elektroskop. Etkiyle veya dağme yoluyla elektrikle yüklendiğinde altın levhalar birbirini iterek açılır.



Şekil – 11.71: Bir elektroskopun etki yoluyla elektriklenmesi.

Benjamin Franklin (1706 – 1790) ve paratoner

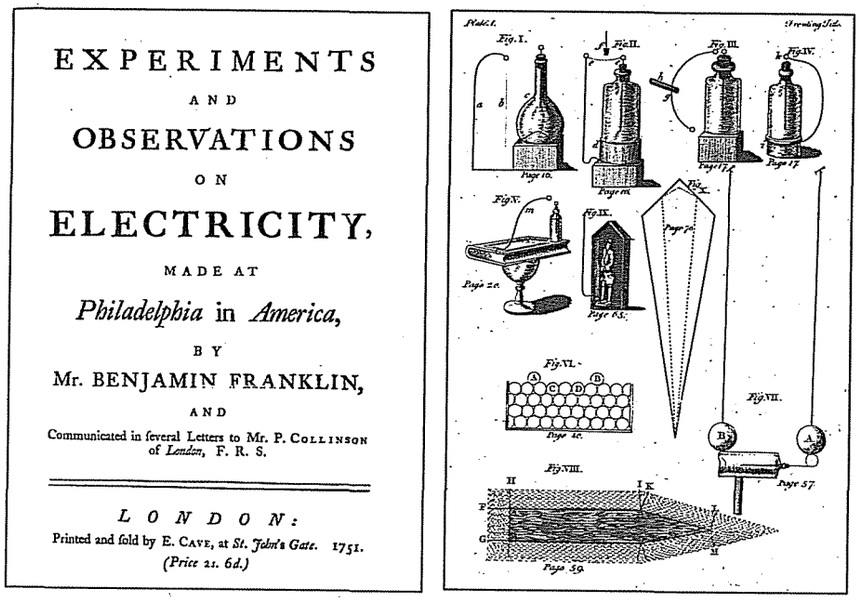
Benjamin Franklin (1706 – 1790) Boston'da yoksul bir mumcunun oğlu olarak doğdu. (Şekil – 11.72). Çocukluğunda 12 yaşındayken bir matbaacının yanında çırak olarak çalışmaya başladı ve 17 yaşındayken Philadelphia'ya giderek kendi matbaasını kurdu. Bir süre İngiltere'de matbaacılık yaptıktan ve bu sırada çağdaş bilim ve siyaseti kavradıktan sonra 1726'da Philadelphia'ya döndü. 1743'de Amerikan Felsefe Derneği'ni kurdu. Elektrik akımı teorisinin temellerini attı ve paratoneri buldu. Pensilvania temsilcisi olarak İngiltere'ye gitti. Amerikan bağımsızlık hareketinin örgütleyicilerinden biri oldu, Bağımsızlık Bildirisi ve Anayasa'nın hazırlanmasına katkıda bulundu ve Bağımsızlık Savaşı sırasında Paris'de Amerikan Büyükelçisi olarak önemli görevler yaparak Fransa'nın desteğini kazandı.



Şekil – 11.72: Benjamin Franklin. (1706 – 1790).

Philadelphia'da elektrik üzerinde deneylere başlayan Franklin, sağlam sağduyusu ve kendi tasarladığı cihazlarla daha önceki elektrik deneylerinin karmaşık görünümlerini aydınlattı. (Şekil – 11.73). Elektriği bütün cisimlerde varolan maddesel olmayan nitelikte bir akışken olarak düşündü ve iki değil sadece bir tür elektrik olduğunu ortaya koydu. Cisimler elektrikle doymuş oldukları sürece elektriğin farkına varılmaz. Cisimler bir miktar elektrik eklendiğinde pozitif (plus) ve bir

miktar elektrik çıkarıldığında da negatif (minus) olarak yüklenmiş olurlar. Elektriksel akışkanın gerçek düzeyine ulaşma eğilimi, elektriksel çekimin ve bu eğilim yeterli düzeyde yüksekse kıvılcım ve şokların nedenidir. Franklin'in bu açıklamalarında akışkan yerine elektron koyarsak ve yüklerin işaretlerini de tersine çevirirsek modern yük teorisi ortaya çıkar.


EXPERIMENTS
AND
OBSERVATIONS
ON
ELECTRICITY,
MADE AT
Philadelphia in *America*,
BY
Mr. BENJAMIN FRANKLIN,
AND
Communicated in feveral Letters to Mr. P. COLLINSON of *London*, F. R. S.
LONDON:
Printed and fold by E. CAVE, at *St. John's Gate*. 1751.
(Price 2s. 6d.)

Şekil – 11.73: Benjamin Franklin'in elektrik konusundaki kitabının kapağı (solda) ve kitaptan bir levha (sağda).

Benjamin Franklin'in elektrik alanındaki en önemli katkısı 1752 yılı Haziran ayında fırtınalı bir havada bir uçurtma yardımıyla şimşeğin elektriğini yakalayıp yeryüzüne indirerek bir Leyden şişesinde toplamasıdır. (Şekil – 11.74). Topladığı bu elektriğin laboratuvarda elde edilen elektrik kıvılcımı ile aynı olduğunu gösterdi. Buradan yola çıkarak kendine özgü pratik bir yöntemle yıldırımların yol açtığı zararların paratoner ile önlenebileceğini 1753'de ortaya koydu. Bu buluşla birlikte elektrik bilimi ilk kez pratik ve yararlı bir uygulama alanı buldu. Kısa sürede yaygınlaşan paratoner elektrik teknolojisinin ilk örneklerinden birini oluşturur.

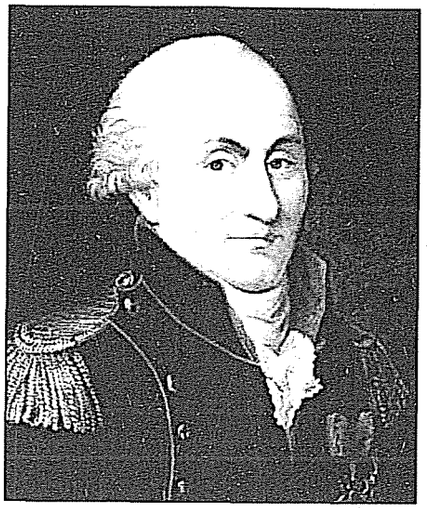
Şekil – 11.74: Benjamin Franklin'in Haziran 1752'de şimşeğin elektriğini bir uçurtma yardımıyla Leyden şişesine doldurmasını gösteren temsili bir resim.

Coulomb yasası (1785)

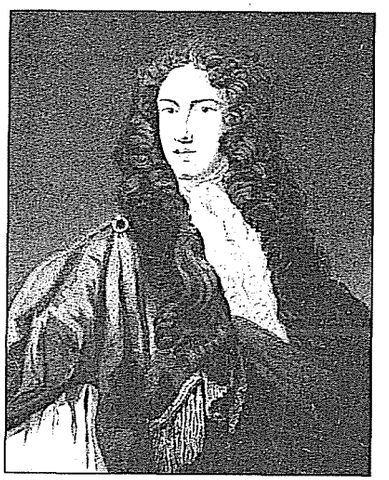
1760'larda ve 1770'lerde Benjamin Franklin, kimyacı ve fizikçi Joseph Priestley (1733 – 1804) ve Henry Cavendish (1731 – 1810) (Şekil – 11.75) elektriksel yükler arasındaki çekme ve itme kuvvetlerinin kütlesel çekimde olduğu gibi, aradaki uzaklığın karesi ile ters orantılı olarak değiştiğini deneysel çalışmaları sonucunda ortaya koydular. Bu önemli bir buluş olmakla birlikte duyarlı ölçümlerle kanıtlanması gerekiyordu. Fransız fizikçi ve mühendis Charles Augustin de Coulomb (1736 – 1806) (Şekil – 11.76) 1785'de burulma terazisi ile yaptığı deneyler sonucunda kendi adıyla anılan yasayı ortaya koydu. Burulma terazisi İngiliz John Michell (1724 – 1793) (Şekil – 11.77) tarafından bulunmuş ve Henry Cavendish tarafından da kütlesel çekim yasasını kanıtlamak için kullanılmıştı. (Şekil – 11.78). Coulomb denizci pusulasını geliştirmek için yola çıkmış ve önce bir magnetik iğneyi ince

bir gümüş tele asarak magnetik itme ve çekmeleri incelemeye başlamıştır. Bunun sonucunda kendi adıyla anılan magnetik çekme ve itme yasasını ortaya koymuştur.

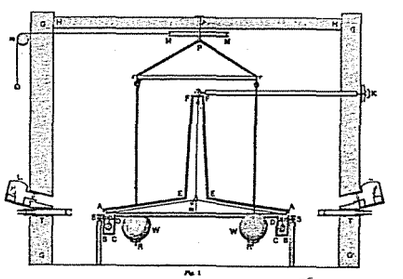
Şekil – 11.75: Henry Cavendish. (1731 – 1810).



Şekil – 11.76: Charles Augustin de Coulomb. (1736 – 1806).

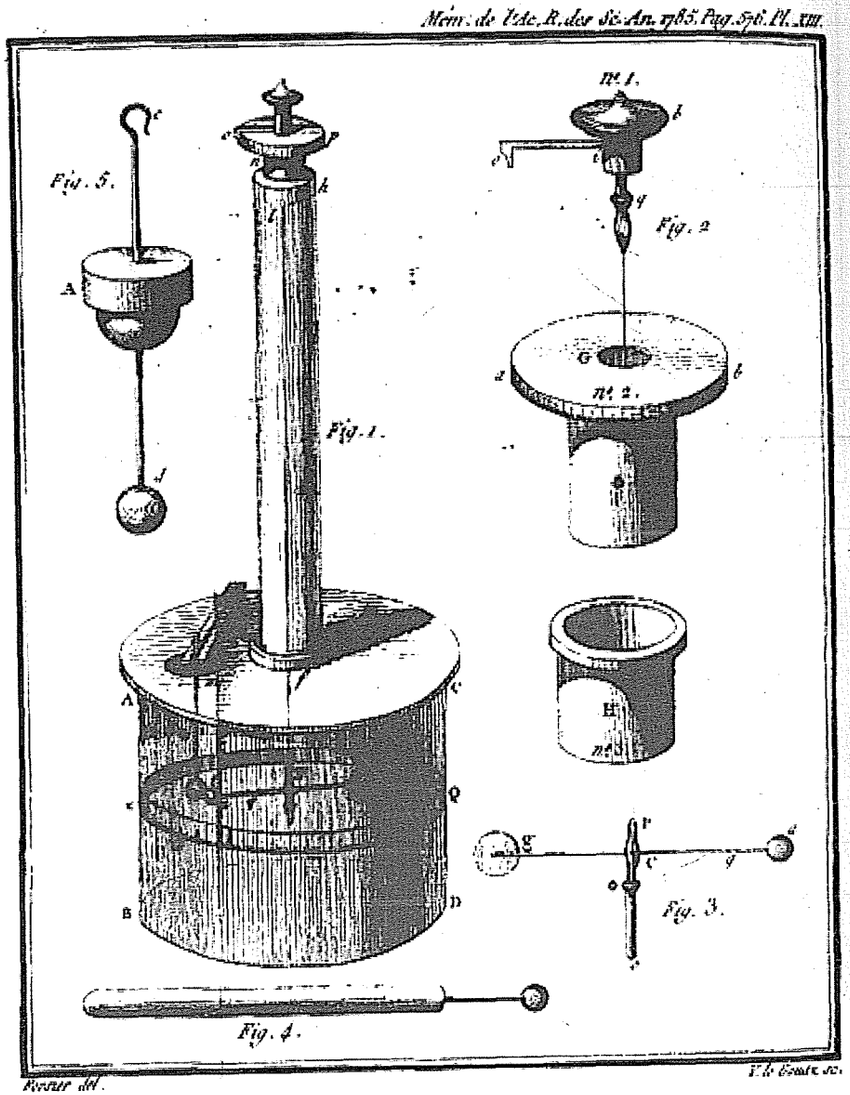


Şekil – 11.77: John Michell. (1724 – 1793).

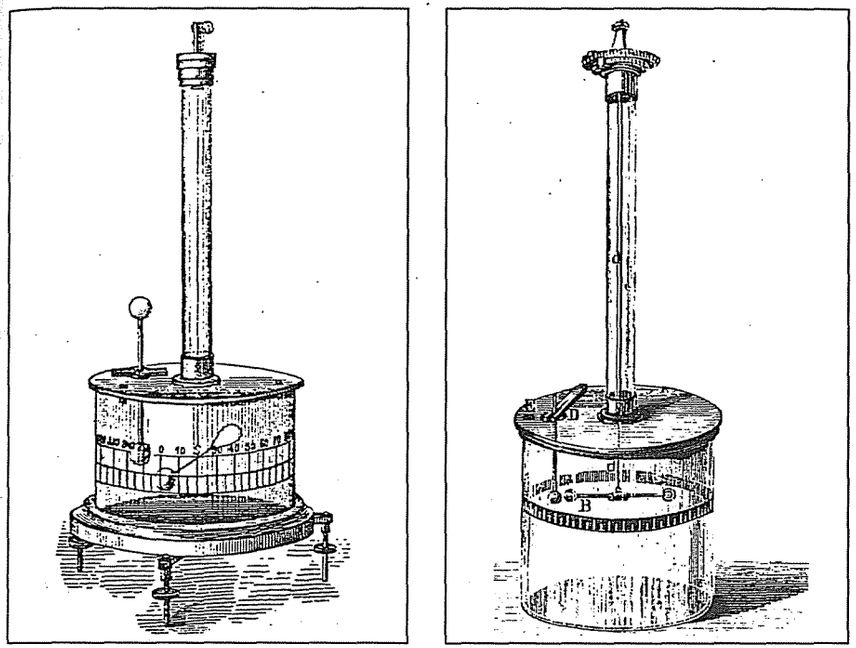


Şekil – 11.78: Cavendish'in burulma terazisi.

Elektriksel çekme ve itmeler uygun bir ölçüm yöntemi bulununcaya kadar nicel olarak saptanamamış olup Coulomb tarafından geliştirilen burulma terazisi ile ölçümler gerçekleştirilebilmiştir. (Şekil – 11.79 ve 11.80).



Şekil – 11.79: Coulomb tarafından geliştirilmiş olan burulma terazisi.



Şekil – 11.80: Coulomb burulma terazileri. Sistem cam bir kap içine konulmuş olup dönmeyi saptamak için bir skalası vardır. Burada ***a*** ve ***b*** küreleri elektrikle yüklüdür. Bunlar aynı tür elektrikle yüklü iseler ***a*** küresi itilir ve bunun sonucunda askı ipi belirli bir miktar döner. Burada ***θ*** dönme açısı ***a*** küresi üzerine etkiyen kuvvet ile doğru orantılıdır. [Grunmach ve Rosenboom, s. 507].

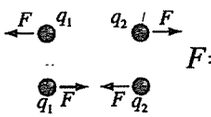
Coulomb elektrik yüklerinin birbirini çekmesi ve itmesi konusunda yaptığı ilk deneylerin sonucunda,

$$F \approx \frac{1}{r^2}$$

bağıntısına ulaştı. Aralarında ***r*** uzaklığı bulunan elektrikle yüklü ***a*** ve ***b*** kürelerinin birbirine uyguladığı ***F*** kuvveti Newton'un üçüncü yasasına göre yükleri birleştiren doğru üzerinde fakat zıt yönde etkindir. Kürelerin üzerindeki yük miktarları farklı olmakla birlikte etkiyen kuvvetin büyüklüğü her iki küre için de aynıdır. Coulomb daha ileri deneyleri sonucunda,

$$F \approx \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

bağıntısına ulaşmıştır. Buna göre, iki elektrik yükü arasındaki çekme ve itme kuvveti yüklerin çarpımı ile doğru ve aralarındaki uzaklığın karesiyle ters orantılıdır. Bu bağıntı *Coulomb yasası* olarak adlandırılır. Bu yasa etkileşmekte olan elektrik yüklü cisimlerin boyutlarının aralarındaki uzaklığa göre çok küçük olduğu durumlarda veya başka bir deyimle genel olarak nokta yükler için geçerlidir.



$$F = \frac{kq_1q_2}{r^2} = \frac{q_1q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$$

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \approx 9x10^9 N \cdot m^2/C^2$$

Coulomb çekim yasası yüz yıl kadar önce bulunmuş olan genel çekim yasasına çok benzer ve burada kütleler yerine yükler geçmiştir. Ancak, gravitasyonun (kütle çekiminin) daima bir çekim kuvveti olmasına karşılık burada çekme ve itme kuvvetleri vardır. Bu durum, kütlenin tek bir tür olmasına karşılık iki farklı tür elektrik yükü olduğunu ortaya koyar. Bu buluşlar Newton mekaniğinin elektriğe uygulanabilirliğini olanaklı kılmıştır. Ancak burada çekim yanında itme kuvvetleri de vardır.

Yalıtılmış iletken bir kutunun iç tarafında elektrik yükünün bulunmadığı ilk kez 1765'da Benjamin Franklin tarafından fark edilmiş, 1766'da Joseph Priestley bunu deneysel olarak kanıtlamış ve 1771'de Henry Cavendish daha duyarlı deneyler yapmıştır. Yüklenmiş bir iletkenin içinde elektrik yükü yoktur ve Coulomb yasası bunun bir sonucudur.

Çeşitli nedenlerden dolayı Coulomb yasasındaki üs tam 2 olmayıp ***(2 + δ)*** dır. Buradaki ***δ*** değeri Gauss yasası yardımıyla saptanabilir.

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^{2+\delta}}$$

Burada δ = 0 ise bağıntı ters kare yasası biçimini alır. Aşağıda (Çizelge – 11.1)'de ***δ*** değerinin sıfıra yakınlığını saptayan deneylerin bazılarının sonuçları verilmiştir. Burada Coulomb ve Robinson'un ölçümleri ters kare yasasına ve ötekiler Gauss yasasına göre yapılmıştır.

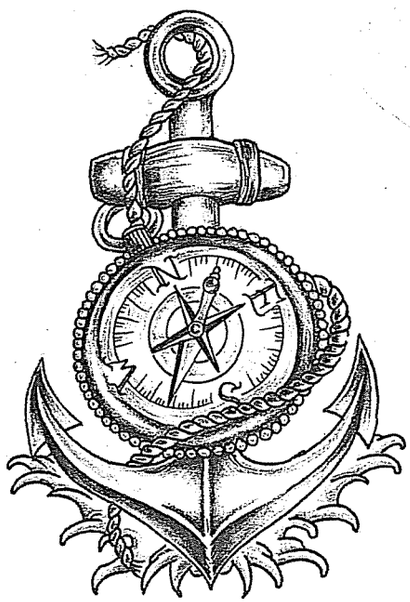
ÇİZELGE – 11.1
Coulomb yasasının kanıtlanması konusundaki bazı deneylerin sonuçları

Deneyi yapan	Tarih	δ
Benjamin Franklin	1755	–
Joseph Priestley	1767	Kare ile ters orantılı
John Robinson	1769	≤ 0.06
Henry Cavendish	1773	≤ 0,02
Charles A. Coulomb	1785	Yüzde birkaç
James Clerk Maxwell	1873	$\leq 5.10^{-3}$
Samuel J. Plinton ve Willard E. Lowton	1936	$\leq 2.10^{-9}$
Edwin R. Williams, James E. Faller ve Henry A. Hill	1971	$\leq 3.10^{-16}$

Döner diskli statik elektrik makineleri

1700'lerden itibaren Guericke'nin elektrik makinesinin çeşitlemeleri yapıldı. Bunlarda elektrik yüklerini üretmek için cam küre veya silindirler kullanıldı. Giderek daha güçlü makineler yapıldı. Özellikle İngiliz alet yapımcısı John Cuthbertson (1743 – 1821) 1780'lerde karşıt yönde dönen iki cam levha kullanarak bir makine yaptı. Benzer bir makine İngiliz bilimsel alet yapımcısı Jesse Ramsden (1735 – 1800) tarafından da yapıldı. (Şekil – 11.81, 11.82, 11.83 ve 11.84).

Bu tür makinelerin en yaygın olarak kullanılanı İngiliz mühendis James Wimshurst (1832 – 1903) tarafından yapılmış olan ve kendi adıyla anılan elektrostatik makinedir. (Şekil – 11.85, 11.86 ve 11.87). Bu makine yatay bir eksen etrafında birbirine ters yönde dönen cam veya ebonit gibi iki



BÖLÜM – 12

ELEKTRİK AKIMI VE ELEKTROMAGNETİZMA

ELEKTRİK AKIMININ BULUNUŞU

Luigi Galvani (1737 – 1798) ve hayvansal elektrik

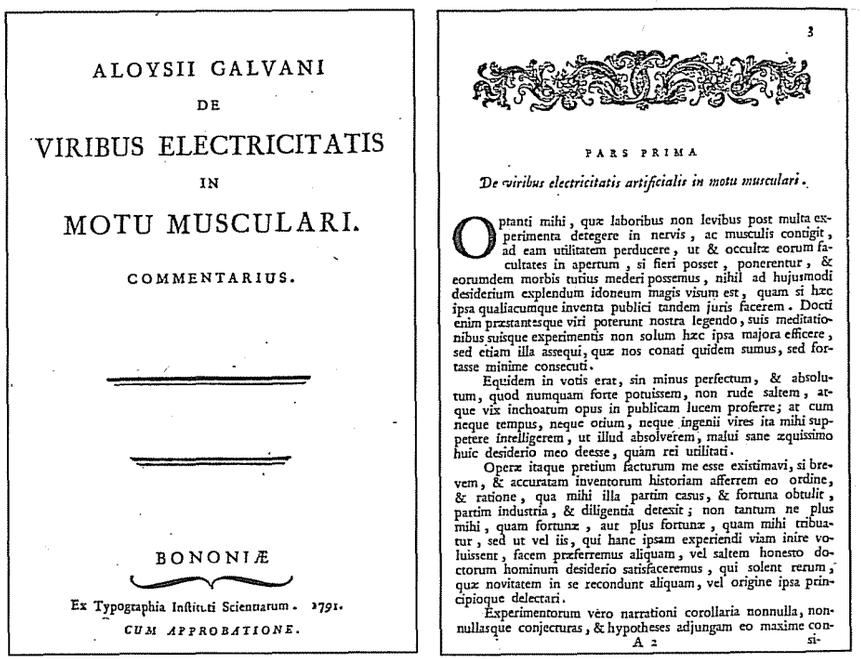
İtalyan hekim Antonio Caldani (1725 – 1813) 1756'da taze kesilmiş kurbağa bacaklarının deşarj olan bir elektrik makinesinin yakınında kasıldığını bildirdi. İtalya'da Bologna Üniversitesi'nde anatomi profesörü olan Luigi Galvani (1737 – 1798) bu olayı 1786'da yeniden buldu. (Şekil – 12.1 ve 12.2).

Şekil – 12.1: Antonio Caldani. (1725 – 1813).

Şekil – 12.2: Luigi Galvani. (1737 – 1798).

Leyden şişesinin yarattığı şok ile torpedo ve gymnotus gibi çarpan balıkların yarattığı şoklar arasındaki benzerlik

gözlenmişti. Henry Cavendish (1731 – 1810) 1776'da Leyden şişesini kullanarak deriden bir çarpan balık modeli yaptı. Özellikle çarpan balıklar bir *hayvansal elektrik* veya *canlı elektriği*'nin varlığını düşündürmüştü. Luigi Galvani, bir elektrik makinesinin deşarjı dışında, bir bakır çengele asılı kurbağa bacaklarının bir demir parmaklığa bağlandığında bir dış elektriksel uyarıcıya gerek olmadan devrenin tamamlandığını ve kasılmanın ortaya çıktığını gözledi. Ayrıca, atmosferik elektriğin kurbağaların sinir sonlarına etkisini belirlemek için bunları Bologna'daki evinin damındaki paratonerlere beğlayarak çeşitli deneyler yaptı. Kurbağa bacaklarına topraklama telleri bağladı ve her şimşek çakışında veya evin üzerinden fırtına bulutları geçtiğinde kas kasılmalarının ortaya çıktığını gözledi. Deney sonuçlarını 1791'de Bologna Üniversitesi Anatomi Enstitüsü'nde açıkladı ve bunları *De viribus electricitatis in motu musculari* adı altında yayınladı. (Şekil – 12.3, 12.4, 12.5 ve 12.6).



ALOYSII GALVANI

DE

VIRIBUS ELECTRICITATIS

IN

MOTU MUSCULARI.

COMMENTARIUS.

BONONIÆ

Ex Typographia Instituti Scientiarum. 1791.

CUM APPROBATIONE.

3

PARS PRIMA

De viribus electricitatis artificialis in motu musculari.

Optanti mihi, quæ laboribus non levibus post multa experimenta detegere in nervis, ac musculis contigit, ad eam utilitatem perducere, ut & occultæ eorum facultates in apertum, si fieri posset, ponerentur, & eorumdem morbis tutius mederi possemus, nihil ad hujusmodi desiderium explendum idoneum magis visum est, quam si hæc ipsa qualiacumque inventa publici tandem juris facerem. Docti enim præstantesque viri poterunt nostra legendo, suis meditationibus suisque experimentis non solum hæc ipsa majora efficere, sed etiam illa assequi, quæ nos conati quidem sumus, sed fortasse minime consecuti.

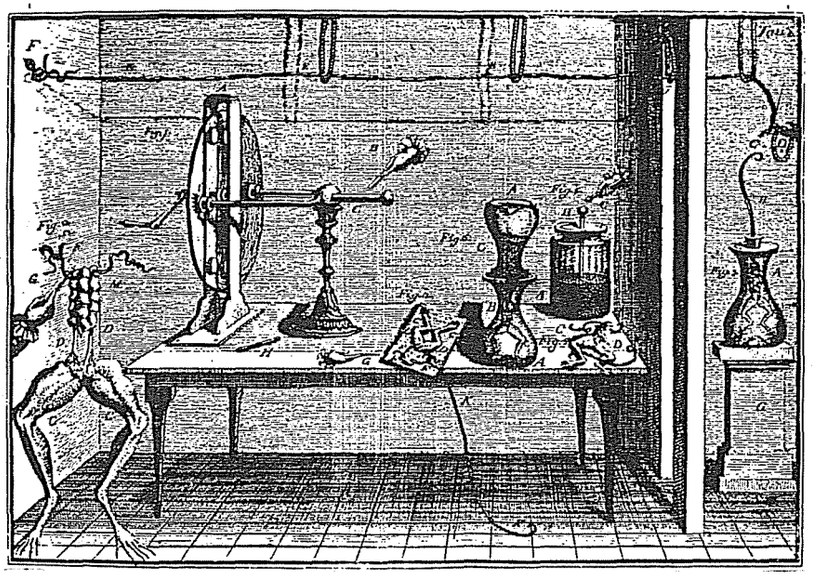
Equidem in votis erat, sin minus perfectum, & absolutum, quod numquam forte potuissem, non rude saltem, atque vix inchoatum opus in publicam lucem proferre; at cum neque tempus, neque otium, neque ingenii vires ita mihi suppetere intelligerem, ut illud absolverem, malui sane æquissimo huic desiderio meo deesse, quàm rei utilitati.

Operæ itaque pretium facturum me esse existimavi, si brevem, & accuratam inventorum historiam afferrem eo ordine, & ratione, qua mihi illa partim casus, & fortuna obtulit, partim industria, & diligentia detexit; non tantum ne plus mihi, quam fortunæ, aut plus fortunæ, quam mihi tribuatur, sed ut vel iis, qui hanc ipsam experiendi viam inire voluissent, facem præferremus aliquam, vel saltem honesto doctorum hominum desiderio satisfaceremus, qui solent rerum, quæ novitatem in se recondunt aliquam, vel origine ipsa principioque delectari.

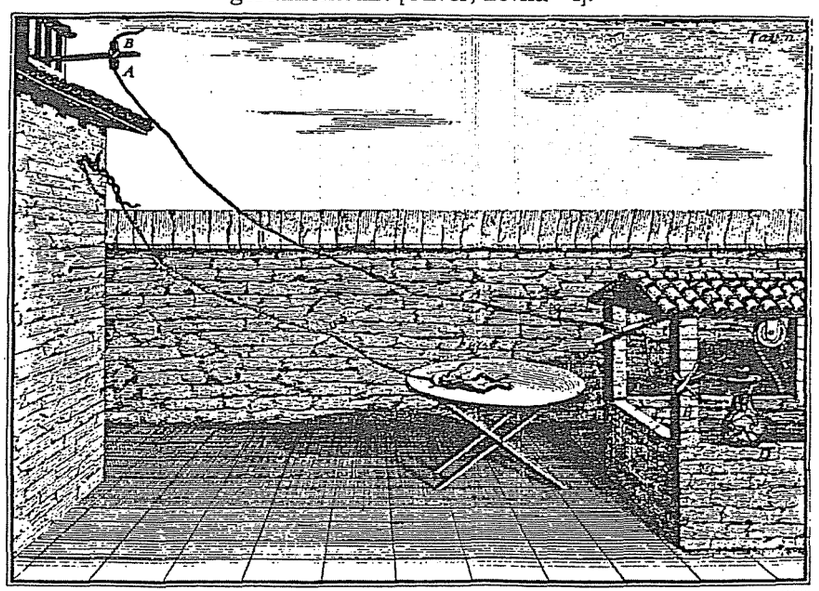
Experimentorum vero narrationi corollaria nonnulla, nonnullasque conjecturas, & hypotheses adjungam eo maxime con-

A 2 si-

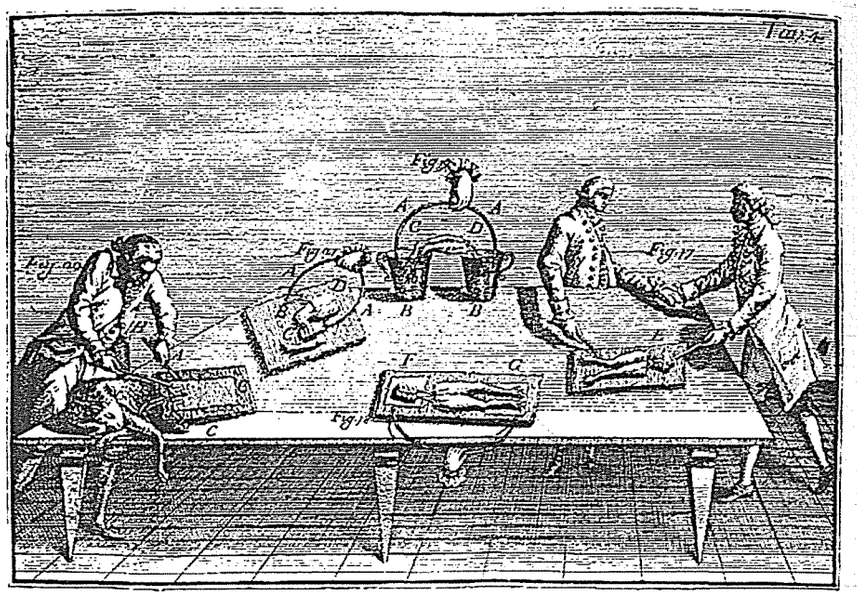
Şekil – 12.3: Galvani'nin *De viribus electricitatis in motu musculari* adlı kitabının kapak (solda) ve başlangıç (sağda) sayfaları.



Şekil – 12.4: Elektriğin kurbağa bacakları üzerine etkisi konusunda Galvani'nin ilk deneyi. Solda elektrik makinesi ve sağda Leyden şişesi görülmektedir. [Oliver, Levha – I].



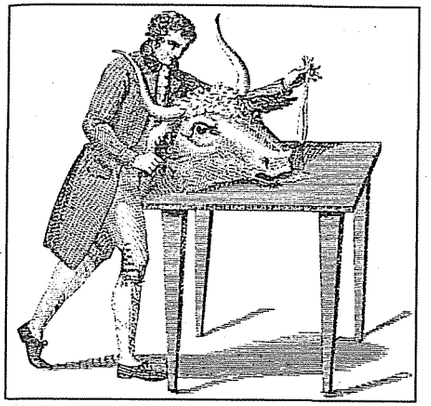
Şekil – 12.5: Galvani'nin şimşeğin kurbağa bacağı üzerine olan etkisini göstermek için düzenlediği deney. Sundurmanın altındaki şişenin içinde asılı durumda kurbağa bacakları görülmektedir. [Oliver, Levha – II].



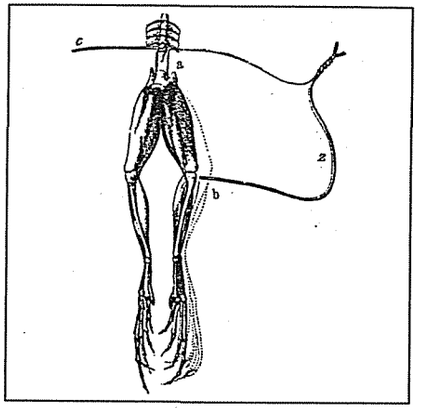
Şekil – 12.6: Galvani'nin metalik yayı. Bakır ve gümüş çubukların birbirine lehimlenmesi veya her birinin bir el ile tutulmasıyla oluşturulmuştur. Gerçekte bu bir bakır – gümüş pilidir. Burada deneylerin tavuk ve koyun bacakları üzerinde genişletilmesi görülmektedir. [Oliver, Levha – IV].

Galvani bu çalışmasında hayvansal bedenlerin biyolojik kökenli özel bir elektrik içerdiklerini, bunun kaslarda ve sinir sistemlerinde saklandığını, sinirlerin pozitif ve kasların da negatif elektrikle yüklü olduğunu ileri sürdü. Sinirin bir Leyden şişesinin içi ve kasın da şişenin dışı gibi olduğunu ve bunlar bir metal ile birleştirildiğinde benzer biçimde deşarjın ortaya çıktığını düşündü. Bu açıklamaların ardından dünyadaki bütün bilim adamları Galvani'nin deneylerini tetrarlamaya başladılar, kapsamını ve çeşitliliğini genişlettiler. (Şekil – 12.7).

Ölü hayvanların bedenlerinde hayvansal elektrik bulunduğu sonucuna varan Galvani aslında elektrik akımını ve pili bulmuştur fakat bunu anlayıp değerlendirememiş ve hayvansal elektrik kavramına saplanıp kalmıştır. (Şekil – 12.8). Galvani tarafından hayvansal elektrik konusunda ortaya konulup öğrencileri tarafından sürdürülen teori *Galvanism* olarak adlandırıldı



Şekil – 12.7: Bir sığır kafası üzerinde hayvansal elektrik araştırması.]Turner, s. 42].



Şekil – 12.8: Kurbağa bacağının sıvıları elektrolit olarak davranmakta ve iki farklı metal tel ile bir pil oluşmaktadır. [Grunmach ve Rosenboom, s. 527].

Alessandro Volta (1745 – 1827) ve elektrik akımı

Alessandro Volta (1745 – 1827)[1] İtalya'nın Como kentinde doğdu ve ancak dört yaşındayken konuşmaya başladı. Fakat ilk öğrenimini gecikmeden 1758'de tamamladı ve keskin bir zekânın belirtilerini göstermeye başladı. Birkaç yıl Como'daki bir Cizvit okuluna felsefe öğrenimi için gönderildi fakat bütün boş vakitlerini bilim konusunda okuma ile geçirmeye başladı. O dönemde bilimsel yayınların çoğu Fransızca olduğundan hızla bu dili öğrendi. 1761'de kendisini bütünüyle bilim konusunda çalışmaya adadı ve elektrikle ilgilenmeye başladı. Yirmibir yaşındayken yazdığı ilk makalesini[2] dönemin ünlü astronomu ve elektrik konusunda çalışmaları olan Peder Giovanni Battista Beccaria'ya (1716 – 1781) gönderdi. Yavaş yavaş bilim dünyasında elektrik konusunda bir otorite olarak tanındı. (Şekil – 12.9).

Volta 1775'de Como'daki yüksek okula deneysel fizik profesörü ve üç yıl sonra Pavia Üniversitesi'ne fizik profesörü

---

1 C. G. Vosa, "Alessandro Volta, 1745 – 1827", *Late Eighteenth Century European Scientists*, Ed. R. C. Olby, Oxford 1966, s. 127 – 142.

2 *De vir attractiva ignis electrici, ac phaenomenis independentibus.*

oldu. 1776'dan itibaren düzenli olarak Avrupa'da gezilere çıkarak dönemin ünlü bilim insanları ile tanıştı ve araştırmalarda bulundu, başta Royal Society olmak üzere çeşitli bilimsel derneklere üye seçildi ve 1794'de bilime katkısı dolayısı ile Royal Society'nin Copley madalyası ile ödüllendirildi.

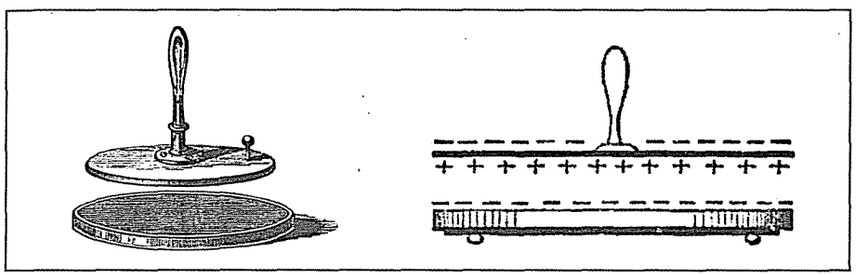
Şekil – 12.9: Alessandro Volta. (1745 – 1827). [Grunmach ve Rosenboom, s. 528].

Volta 1795'de Pavia Üniversitesi'ne rektör seçildi fakat 1799'da İtalya'daki politik güç savaşlarının kurbanı olarak bütün öğretim kadrosu ile birlikte görevden alındı. Pili bulduktan sonra Paris'e gitti ve burada Fransız Enstitüsü'nde [Institut de France] gösteriler yapıp dersler verdi ve Napolyon tarafından altın madalya ile ödüllendirildi. Kuzey İtalya'nın Napolyon'un denetimine geçmesinin hemen ardından yeniden Pavia Üniversitesi rektörü oldu ve 1815'de emekliye ayrıldı.

Volta'nın elektrik olayını açıklaması temel olarak cisim ile içerdiği elektrik akışkanı arasında bir çekim kuvvetinin bulunduğu, bu kuvvetin cismi oluşturan taneciklerin konumuna bağlı olduğu üzerine temellenir. Cismin tanecikleri sürtme ile uyanrıldığında yer değiştirirler ve böylece çekim kuvvetlerinin dengesi bozulur ve bu da cismin elektriklenmesine neden olur. Sistemin doğal dengesinin

yeniden kurulabilmesi yani bu kuvvetlerin dengelenmesi için bir miktar elektrik akışkanının eklenmesi veya çıkartılması gereklidir.

Volta 1775'de bir tür elektrik depolayıcısı olan ve *electrophorus* adını verdiği bir kondansatör yaptı. (Şekil – 12.10). Bu alet genellikle kalaydan yapılmış iki metalik diskten oluşur. Disklerin birbirine bakan yüzeyleri mum veya reçine ile kaplıdır ve üstteki diskin tahta bir sapı vardır. Bu alet sürtme ile elektriklenir ve elektrikle ilgili deneylerde kullanılır. Volta statatik elektrik üzerindeki deneylerini sürdürdü ve beş yıl sonra basit elektroforunu bir Leyden şişesinden veya doğrudan bir elektrik makinesinden yüklenen bir kondansatöre dönüştürdü. Bu kondarsatörü kullanarak demirin seyreltik sülfat asidinde çözülmesiyle oluşan gaz (hidrojen) ve yanan kömürün dumanı içindeki su buharının negatif elektrikle yüklü olduğunu gösterdi ve bu sonuçları 1782'de Royal Society'ye bildirdi.



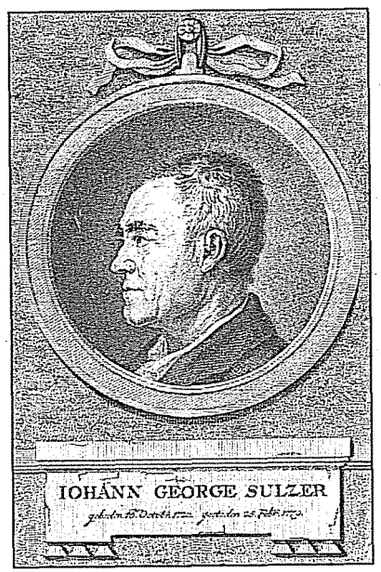
Şekil 12.10: Volta'nın 1775'de yaptığı ve *electrophorus* adını verdiği bir kondansatör

Volta Galvani'nin hayvansal elektriğini kanıtlamak üzere deneylere başladı. Ancak çok duyarlı elektrometreler kullanarak yaptığı deneylerinin sonucunda kas kasılmasının elektriğin doğrudan bir etkisi sonucunda olmadığını, elektriğin sinirleri uyaran bir etkisinin bulunduğunu ortaya koydu ve buluşlarını 1792'de yayınladı.[3]

İsviçreli Johann Georg Sulzer (1720 – 1779) (Şekil – 12.11) dilini uçları birleştirilmiş kurşun ve gümüş parçaları arasına koyduğunda hoş olmayan, zayıf bir elektrik deşarjının

3 *Memoria seconda sull'elettricità animale.*

etkisinde olduğu gibi batıcı bir his oluştuğunu saptadı. Metalleri ayrı ayrı diline koyduğunda bu his oluşmuyordu. Deney sonuçlarını 1762'de Berlin'de yayınladı.



Şekil – 12.11: Johann Georg Sulzer. (1720 – 1779).

Alessandro Volta Sulzer'in denemelerini değişik metal çiftleri ile tekrarlayarak geliştirdi. Kurşunun dilin ucuna ve gümüşün onun arkasına değdirildiğinde asit hissinin ve karşıt durumda da baz hissinin oluştuğunu saptadı. Yaptığı deneyler sonucunda metalleri ve diğer iletkenleri elektriksel etkinliklerine göre sınıflandırdı. Volta 1793'de deneylerinin sonuçlarına dayanarak dengelenmemiş elektrik yükünün iki metal arasında veya bir metal ile nemli cisimler arasında elektrik akışına neden olduğunu ileri sürdü. Bu varsayımını kanıtlamak için "birinci sınıf" olarak adlandırdığı kuru iletkenler (metaller) ve "ikinci sınıf" olarak adlandırdığı nemli iletkenler (su) ile deneylere başladı. Deneyleri sonucunda 1795'de elektrik akışının daima birbirine bağlı üç farklı iletkenden oluşan bir devrede ortaya çıktığını saptadı. Volta 1796 – 1798 yılları arasında çok sayıda farklı metal çiftleri ile denemeler yaptı. 1797'de birinci sınıf iletken çiftlerinin oluşturduğu zincirde *gerilim* olarak adlandırdığı elektriksel

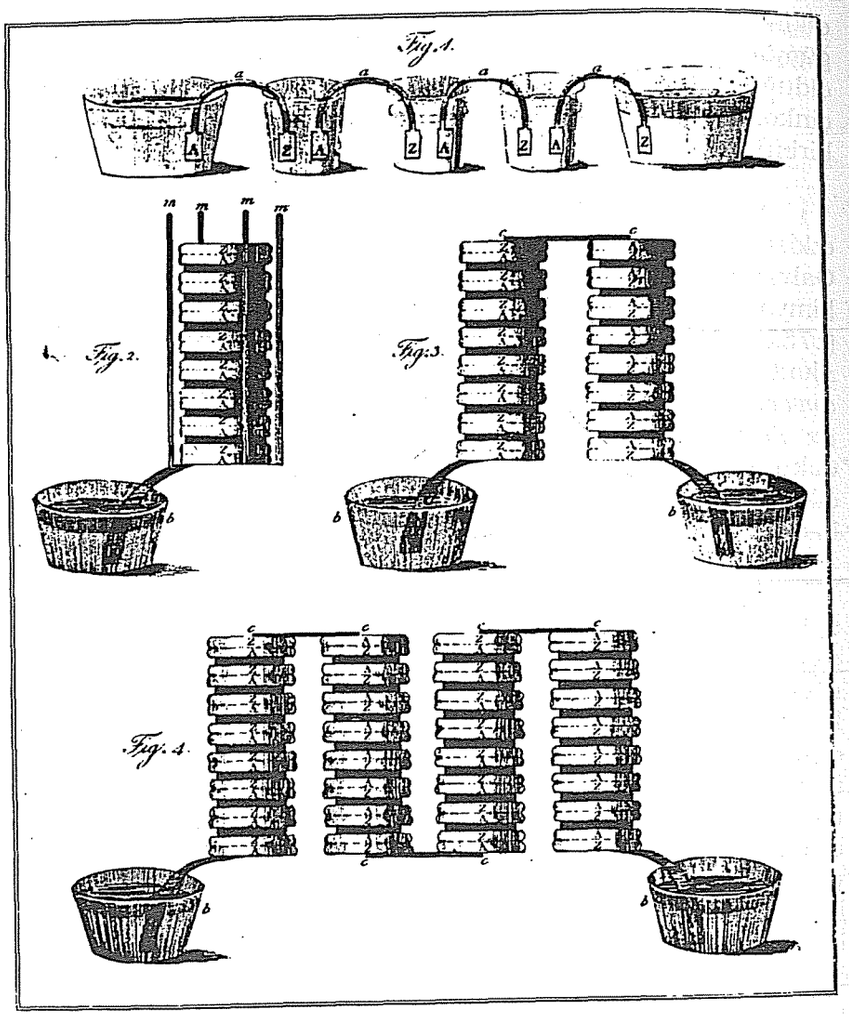
etkinliğin metalik çiftin sayısı ile orantılı olarak arttığını ve gümüş – çinko veya bakır – çinko çiftlerinin özellikle etkin olduğunu ortaya koydu. Metalleri bir dizi olarak sıraladı: çinko, kurşun, kalay, demir, bakır, gümüş, altın. Sırada birbirinden uzak olanlar daha yüksek gerilim üretirler.

Volta metalik iletkenlerinin hayvanların sinir sistemlerine etkisinin kimyasal bir faktöre bağlı olduğu sonucuna vardı. Galvanik elektriğin kimyasal kökeni Floransa Üniversitesi'nde kimya profesörü olan Giovanni Valentino Mattia Fabbroni (1752 – 1822) tarafından ortaya konularak 1792'de Floransa Akademisi'nde *Dell'azione chimica dei metal nuovamente avvertita* başlığı altında sunuldu ve 1799'da Fransa'da *Journal de Physiqe*'de yayınlandı. Buna göre, bir metal hayvansal dokudaki bir akışkan ile temasa geldiğinde akışkan bozunarak çıkan oksijen metal ile birleşir ve bu kimyasal etki kurbağa bacağının kasılmasına neden olur.

Volta 1799 yılı sonuna doğru daha sonra pil olarak adlandırılacak olan ilk "yapay elektrik organı"nı [artificial electric organ] gerçekleştirdi. Bu pil aralarına tuzlu su ile ıslatılmış kumaş, karton veya deri gibi emici maddeler konulmuş gümüş ve çinko disklerinin üst üste konulmasından oluşmuştu. Volta aynı zamanda bir daire şeklinde dizdiği içinde tuzlu su bulunan cam kaplardan oluşan "bardakların tacı" [crown of cups] adını verdiği bir batarya yaptı. Her kaba birbirine değmemek üzere birer gümüş ve çinko levha yerleştirdi ve bir kaptaki çinko levhayı öteki kaptaki gümüş levhaya bağladı ve böyleve ilk gümüş levha ile son çinko levha bataryanın kutupları oldu.

Volta 20 Mart 1800'de Royal Society Başkanı Joseph Banks'e deneylerini ve elektriksel aletlerini anlatan bir yazı gönderdi. Bu yazı birkaç ay sonra "On the electricity excited by the mere contact of conducting substances of different kinds" başlığı altında *Philosophical Transactions of the Royal Society*'de yayınlandı. (Şekil – 12.12). Volta pilini yaparken kesinlikle aşağıdaki düşünce sırasını izlemiştir.

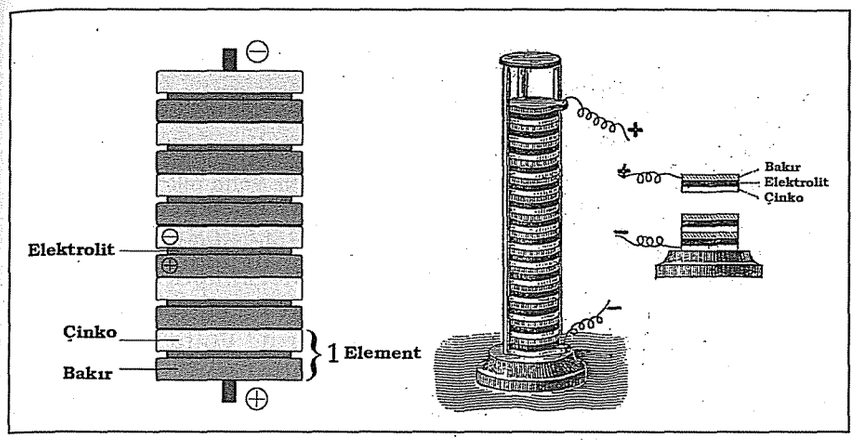
1) Farklı iletkenler ve özellikle metaller arasında bir elektriksel dengesizliğin bulunması.



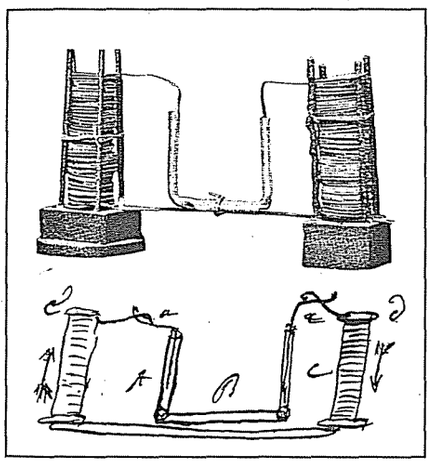
Şekil – 12.12: Volta'nın 1800'de *Philosophical Transactions of the Royal Society*'de yayınlanan yazısının ekindeki pil resimleri. Burada Z = çinko ve A = gümüştür. Piller çinko ve gümüş diskler arasında tuzlu su ile ıslatılmış kâğıtlar içermektedir. En üstte "Crown of cups" görülmektedir. Burada seyreltik asit veya tuz çözeltisine batırılmış çinko ve gümüş levhalar metal çubuklar ile birleştirilmiştir. [Vosa, s. 139].

2) Farklı iletkenler arasındaki bir devrede dengenin olmaması durumunda yeniden denge kuruluncaya kadar aradaki farka karşılık olan miktarda bir elektrik akışının ortaya çıkması.

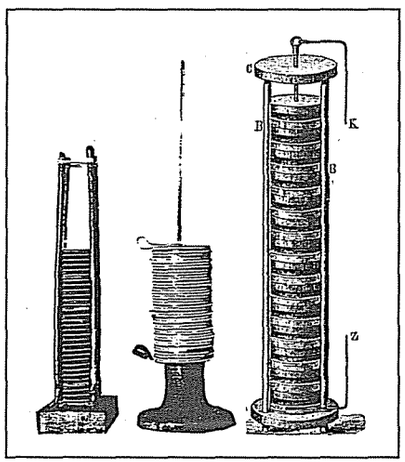
3) Birinci sınıf iki iletken arasında böyle bir olayın gerçekleşmesi ile bunun büyüklüğü ve bir dizi metal çiftinin ikinci sınıf bir iletkene batırılmasının etkisinin bulunması.



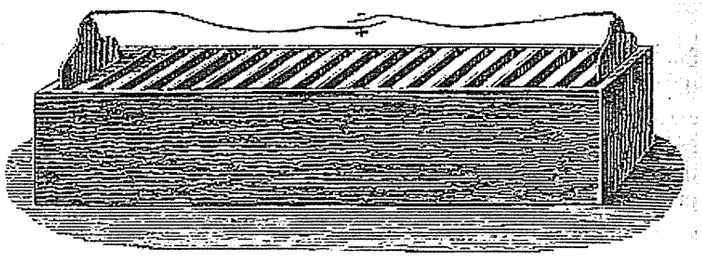
Şekil – 12.13: Volta pilinin kuruluş şeması.



Şekil – 12.14: Volta tarafından pilinin özelliğini göstermek için kullanılan alet. U biçimindeki boruda su vardır ve (–) elektrot tarafı bazik, (+) elektrot tarafı da asidik olmaktadır. Altta Volta'nın kendi çizimi görülmektedir. [Vosa, s. 140].



Şekil – 12.15: Çeşitli Volta pilleri. Üst üste dizilen metal disklerinin kaymaması için bunlar üç veya dört dikey destek arasına yerleştirilir veya disklerin ortasına birer delik açılarak tümü bir çubuk üzerine geçirilebilir. [Grunmach ve Rosenboom, s. 530].



Şekil – 12.16: Tahta kutu içine yerleştirilmiş bir Volta pili bataryası.

Sürtme ile oluşan elektriğin şimşekteki elektrik ile özdeş olduğu Benjamin Franklin tarafından gösterilmişti. Alessandro Volta ise sürtme ile oluşan elektrik ile iki farklı metal çiftinin ürettiği elektriğin özdeş olduğunu gösterdi. Volta'nın buluşu bilim dünyası tarafından genel olarak kabul görmekle birlikte Galvani okulunun izleyicileri Volta pilinin ürettiği elektriğin biyolojik kökenli olandan bütünüyle farklı olduğu görüşünü sürdürdüler. Buna karşıt olarak Volta'nın isteği üzerine Hollandalı fizikçi Martin Van Marum ile C. H. Pfaff Ekim 1801'de yaptıkları bir dizi deney sonucunda Volta'nın teorisini doğrulayarak pilin ürettiği *metalik elektrik* ile elektrik makinesinin ürettiği elektriğin *Galvanik akışkan* veya organik kökenli elektrik ile aynı olduğunu kanıtladılar.

Pilin bulunuşu ve elektrik akımının elde edilmesi getirdiği sonuçlar bakımından uygarlığın gelişiminde ateşin bulunuşu ve kullanılışı kadar büyük bir öneme sahiptir.

Elektrolizin bulunuşu

Londra'da cerrah olan Anthony Carlisle (1768 – 1840) ile kimyacı William Nicholson (1753 – 1815) 30 Nisan 1800'de aralarında tuzlu su ile ıslatılmış kartonlar bulunan 36 çinko – gümüş çiftinden oluşan bir Volta bataryası yardımıyla suyu elektroliz ederek elementlerine ayrıştırdılar. Ayrıca, Volta'nın cam kaplardan oluşan bataryasındaki metallerin kimyasal bozunmaya uğradığını gösterdiler. Madde ile elektrik arasındaki ilişki ve etkileşim giderek maddenin yapısının da elektriksel nitelikte olduğunu düşündürmeye başladı.

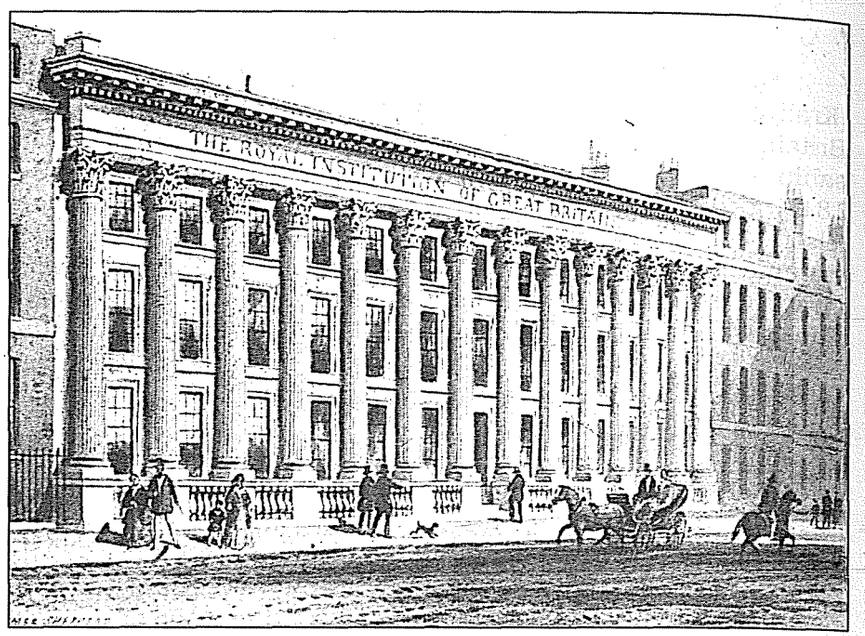
Humphry Davy (1778 – 1829)[4]

Bir bilim ve araştırma kurumu olan Royal Institution [Kraliyet Müessesesi] veya tam adıyla Royal Institution of Great Britain [Büyük Britanya Kraliyet Müessesesi] ilginç bir kişiliğe sahip olan Sir Benjamin Thompson'un (Kont Rumford; 1753 – 1814) girişimleri sonucunda kuruldu. (Şekil – 12.17). Amacı felsefi dersler vermek, bilimin uygulaması olan deneyler yardımıyla yaşamın genel amaçları için bilgiyi yaymak, yararlı mekanik buluş ve gelişmelerin tanınmasına yardımcı olmak olan bu kurumun kurulmasına 7 Mart 1799'da karar verildi. Bilimle ilgilenen kişiler arasında ilişki kurulmasını ve onlara bireysel veya birlikte araştırma yapma olanaklarını sağlamak da amaçlar arasındaydı.

Kont Rumford'un en önemli katkılarından biri Humphry Davy'nin (1778 – 1829) 1801'de henüz yirmi üç yaşındayken burada görev almasını sağlamak oldu. Humphry Davy 1778'de yoksul bir tahtaoymacısının oğlu olarak Cornwall'daki Penzance'da doğdu. Babasının ölümü üzerine 1795'de burada eczacı çıraklığına başladı ve amacı kendini tıp öğrenimi için hazırlamaktı. Antoine Lavoisier'nin ünlü kitabının İngilizce çevirisi olan *Elements of Chemistry* ile 1797'de tanıştı ve kimyaya yöneldi. 1798'de Clifton'a gelerek burada Dr. Thomas Beddoes'in Medical Pneumatic Institution adlı laboratuvarında gazların insan bedeni üzerine etkisi konusunda çalışmaya başladı. 1795'de bulunmuş olan azot oksidül'ü (diazot monoksit, N_2O; güldürücü gaz) Nisan 1799'da soluyarak fizyolojik etkisini buldu. Bu alandaki çalışmalarını 1800'de yayınladı ve aynı yıl yeni bulunmuş olan Volta pili üzerinde çalışmaya başladı. Humphrey Davy 16 Şubat 1801'de Royal Institution'a Yardımcı Kimya Okutmanı [Asisstant Lecturer in Chemistry], Laboratuvar Yöneticisi [Director of the Laboratory] ve kurumun dergilerinin yardımcı editörü [Assistant Editor of the Journals of the Institution] olarak kendisine binada döşenmiş bir oda verilmek ve kömür ile mum ihtiyacı karşılanmak üzere yılda 100 guinea ücretle atandı. (Şekil – 12.18).

---

4 Emre Dölen, *Kimya Tarihinden Kesitler*, İstanbul 2018, s. 226 – 229.



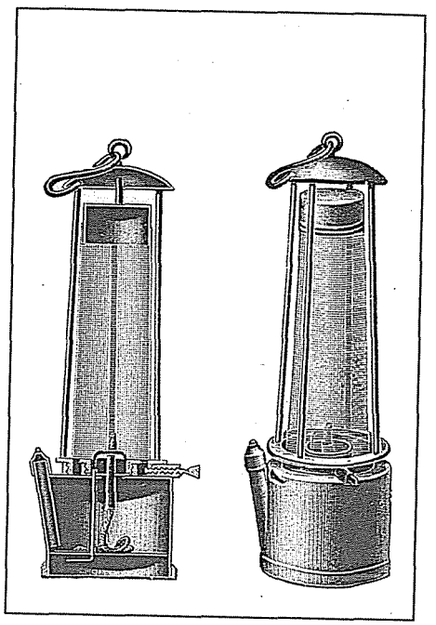
Şekil – 12.17: Royal Institution of Great Britain [Büyük Britanya Kraliyet Müessesesi]'nin XIX. yüzyıldaki genel görünümü.

Humphry Davy 1806'da yoğun olarak elektroliz ve elektrik üzerine çalışmaya başladı ve 1807'de alkalilerin elektrolitik bozunması üzerindeki çalışmaları sonucunda potasyum ve sodyum elementlerini buldu. 1809'da 2000 çift 8 inç karelik levhadan oluşan bir Volta pili bataryası kullanarak iki karbon çubuk arasında elektrik arkını oluşturup elektrikle aydınlatma yolunu açtı. 1810'da muriatik asidin [klorür asidi] bileşimi ve klor üzerine çalışmaya başladı. 1811'de Bernard Courtois (1777 – 1838) tarafından bulunan iyot üzerinde, yanma ve alev konusunda çalışmalar yaptı. 1816'da kendi adıyla *Davy lâmbası* olarak anılan güvenli madenci lâmbasını yaptı. (Şekil – 12.19). Humphry Davy yap-tığı çalışmalar ve verdiği gösteri deneyli konferanslarla Kraliyet Müessesesi'nin ününü kısa sürede duyurdu.

Davy 1803'de Royal Society'ye üye seçildi ve 1820'de başkan oldu. Sağlığı hızla bozulmaya başladı ve 1827'de geçirdiği bir krizden sonra yaşamının geri kalanını depresyon

içinde Avrupa'da dolaşarak geçirdi ve 28 Mayıs 1829'da Cenova'da öldü.

Şekil – 12.18: Humphry Davy. (1778 – 1829).



Şekil – 12.19: "Davy lâmbası" olarak anılan güvenli madenci lâmbası.

Davy alkalilerin sulu çözeltilerini elektrik akımı ile ayrıştırmak için deneylere girişti. Bu deneyler sonucunda sadece çözeltideki suyun hidrojen ve oksijene ayrıştığını gördü. Susuz ortamda eritilmiş potas ile deneyi tekrarladı ve bu kez negatif kutuptan havada patlayan kabarcıklar yükseldiğini gözledi. Daha sonra 6 Ekim 1807'de nemlendirilerek iletken duruma getirilen potasla deneyi tekrarladı. Gümüş parlaklağında, parlak bir alevle patlayarak yanan ve yüzeyi beyaz bir kabukla kaplanan bir metal elde etti. Aynı deneyi birkaç gün sonra soda ile de tekrarladı benzer sonuçlara ulaştı. Elektroliz işlemi sırasında pozitif kutuptan oksijenin serbest kaldığını gördü. Buna göre, alkaliler böyle bir kök ile oksijenden oluşuyordu. Elde edilen bu kökler oksijenle yeniden birleşerek alkalileri oluşturuyordu. Elde ettiği bu köklerin özelliklerini inceleyerek bunların birer metal olduğunu saptadı ve bunları

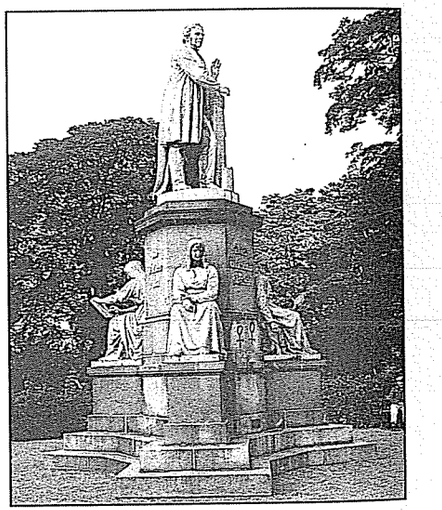
potas'dan *potassium* ve soda'dan *sodium* olarak adlandırdı. Bunun ardından Jöns Jacob Berzelius tarafından kendisine önerilen amalgamlama yöntemini kullanarak oksitlerinin elektrolizi yoluyla toprak alkali metallerinden magnezyum, kalsiyum, baryum ve stronsiyum'u tam saf olmayan bir biçimde elde etti.

ELEKTROMAGNETİZMA

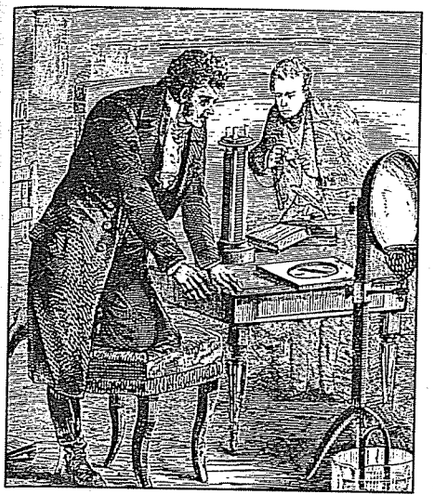
Hans Christian Oersted (1777 – 1851)

İtme ve çekmeye ilişkin Coulomb yasaları başta olmak üzere elektrik ile magnetizma arasındaki benzerlikler bunların arasında bir ilişkinin varlığının düşünülmesine neden olmuştur. Ancak bunun deneysel olarak ortaya konulması çok zordu. Bu ilişki bir rastlantı sonucunda deneysel olarak ortaya çıktı. Danimarkalı Hans Christian Oersted (1777 – 1851) 1820'de Kopenhag'da ders kürsüsünde deney yaparken bir telden elektrik akımı geçirdiğinde telin yakınında bulunan bir pusulanın saptığını gözledi. Bu buluşunu Latince bir mektupla tüm Avrupa'ya duyurdu. (Şekil – 12.20, 12.21, 12.22 ve 12.23).

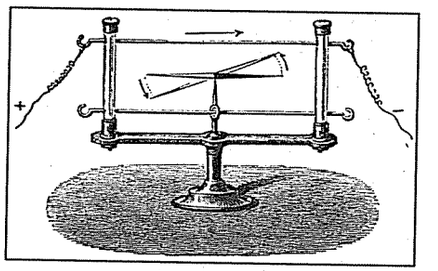
Şekil – 12.20: Hans Christian Oersted. (1777 – 1851). [Grunmach ve Rosenboom, s. 541].



Şekil – 12.21: Oersted'in Kopenhag'daki anıtı.



Şekil – 12.22: Oersted'in bir rastlantı sonucu akımın magnetik etkisini buluşu.



Şekil – 12.23: Akımın magnetik etkisini gösteren bir deney düzeneği.

Bu buluş bütün bilim insanlarını bu konu üzerinde çalışmaya yöneltti. Bu konuda çalışmaya başlayan André Marie Ampére (1775 – 1836) kısa sürede olayın yasalarını ortaya koyarak elektrodinamiği kurdu.

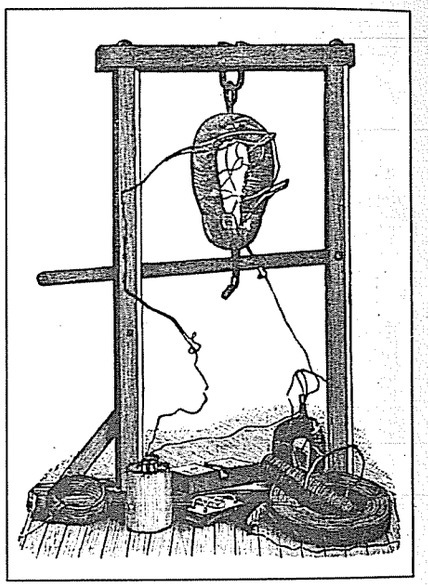
Londra'da *Annals of Electricity* adlı İngiliz elektrik dergisinin kurucusu William Sturgeon (1783 – 1850) 1825'de elektromıknatısı buldu. Elektromıknatıs 1831'de Amerika'da Joseph Henry tarafından geliştirildi. Elektromıknatısın son aşaması elektrikli telgraf ile elektrik motoru oldu.

Elektromagnetizmin yasaları Newton yasalarından ayrılıyordu. Cisimler arasındaki kuvvetlerin bu cisimlerin merkezlerini birleştiren doğru üzerinde etkin olduğu Newton'un *skaler* anlayışının geçerli olmadığı görüldü. Magnetik bir kutbun kendisini akım geçiren tele birleştiren doğruya dik açı yaparak hareket etmesi, uzaklık kadar yönün de göz önüne alınmasını kapsayan *vektörel* yaklaşımı ortaya koydu.

Joseph Henry (1797 – 1878) ve elektromıknatıs

Joseph Henry (1797 – 1878) 16 yaşındayken bir rastlantı sonucu bilimsel deneyleri resimlerle gösteren bir kitabın etkisiyle bilime yöneldi. (Şekil – 12.24). Tıp öğrenimi görmek üzere Albany Üniversitesi'ne girdi ve bir süre sonra mühendisliğe geçti. Okulu bitirdikten sonra aynı okulda hocalığa başladı. Elektrik ve mıknatıslık konusunda Avrupa'da yapılan buluşlara ilgi duyarak bu alanda çalışmaya başladı ve 1829'da güçlü bir elektromıknatıs yapmayı başardı. Mıknatısın gücünün arttırılması için sarım sayısının arttırılması gerektiğini gördü. Kısa devreyi önlemek için ipekli kumaş şeritlerine sarılmış teller kullanarak yaptığı elektromıknatıs 900 kg lık bir yükü kaldırabiliyordu. Oysa Avrupa'da yapılanların en güçlüsü ancak 4 kg kaldırabiliyordu. (Şekil – 12.25 ve 12.26).

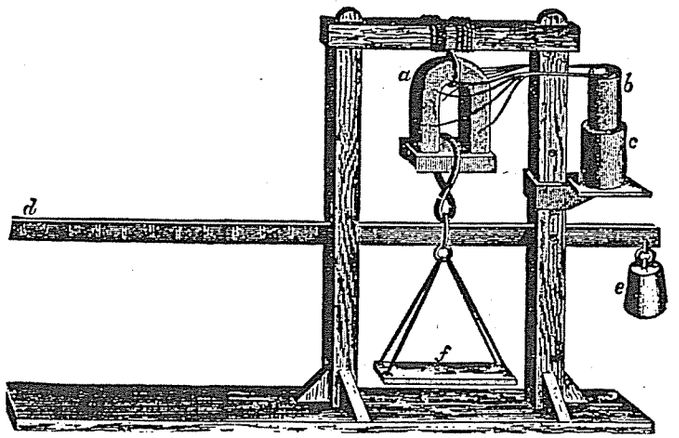
Şekil – 12.24: Joseph Henry. (1797 – 1878).



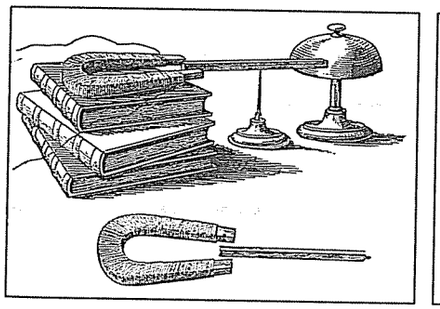
Şekil – 12.25: Joseph Henry'nin elektromıknatısı.

Kısa bir süre sonra elektromıknatısın uzak mesafelere haber iletmede kullanılabileceğini gören Henry 1,5 km uzunluğunda bir tel çiftinin bir ucunu bir bataryaya ve öteki

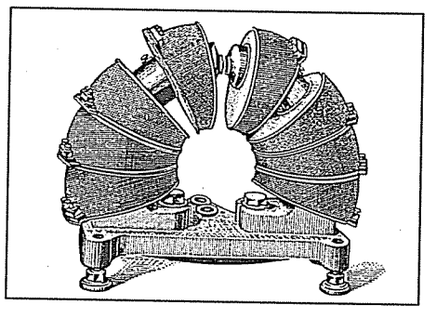
ucunu da bir elektromıknatısa bağladı. Devre açılıp kapandığında öbür uçtaki elektromıknatıs da çalışıyor ve bir demir çubuğu çekip bırakıyordu. Henry böylece 1831'de ilk elektrikli telgrafı gerçekleştirdi fakat patent almadı. Bir süre sonra 1844'de Samuel Morse aynı sisteme dayanan telgrafını yaparak patentini aldı. (Şekil – 12.27).



Şekil – 1.26: Joseph Henry tarafından yapılmış olan güçlü elektromoknatıs. Atnalı biçimindeki bir demir çekirdeğin çevresine üzeri yalıtılmış bakır telden çok sayıda sarım sarılmasıyla yapılmış olan bu elektromıknatıs akım geçtiğinde çok kuvvetli bir biçimde mıknatıslanıyor ve 900 kg dolayında bir yükü kaldırabiliyordu. [Feldman ve Ford, s. 133].



Şekil – 12.27: Joseph Henry'nin elektromagnetik telgrafı. Hattın öbür ucunda devre kapatıldığında elektromıknatıs sabit mıknatısı çekmekte ve onun ucu da bir zili çalmaktadır.



Şekil – 12.28: XIX. yüzyıla ilişkin bir elektromıknatıs. [Kartsev, s 47].

Henry kullanışlı bir elektrik motoru geliştirdi. 1830'da içinden akım geçen bir sargının başka bir sargıda indüksiyon akımı oluşturmasının yanında kendi içinde de bir indüksiyon akımı oluşturduğunu gösterdi. Bu olaya *selfindüksiyon* [*özindüksiyon*] adı verilir. Böylece sargıdaki akım normal akım ile indüksiyon akımının bileşiminden oluşur ve bu olay akımın belirli bir düzeyde tutulmasının istendiği durumlarda çok önemlidir. Özindüksiyon akımının elektromotor kuvveti, bir devreden Δt zaman aralığında geçen akımın şiddetinin ΔI kadar değişmesi durumunda,

$$E = -L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada L özindüksiyon katsayısı olup birimine ölümünden birkaç yıl sonra yaptığı katkıların onuruna *Henry* adı verilmiştir.

Henry 1846'da yeni kurulan Smithsonian Enstitüsü'nün ilk başkanı oldu. Samuel Morse'un geliştirdiği telgraf aracılığı ile ülkenin her yerinden gelen hava raporlarının toplanmasını sağlamış ve ABD Meteoroloji Servisi'nin temelini oluşturmuştur. Ölümü ülke çapında yasa neden olmuş ve cenazesine Başkan da katılmıştır.

André–Marie Ampère (1775 – 1836) ve elektrodinamik

André – Marie Ampère (1775 – 1836) zengin bir toptancı tüccar bir baba ile dindar bir annenin oğlu olarak Lyon'da doğdu. Daha çocuk yaştayken Jean de Rond d'Alembert (1717 – 1783) ve Denis Diderot'nun (1713 – 1784) 20 ciltlik *Encyclopédie*'sinin tümünü sistematik bir biçimde ve adeta ezberlercesine okudu. Daniel Bernoulli (1700 – 1782) ve Leonhard Euler'in (1707 – 1783) matematik kitaplarını okuyacak düzeydeki Latinceyi birkaç haftada öğrendi. 18 yaşında Joseph – Louis Lagrange'ın (1736 – 1813) *Mécanique Analytique* adlı eseri üzerinde uzmanlaştı. Sulh yargıçlığı da yapan babasının 1793'de idamı üzerine çok sarsılarak bir bunalım geçirdi. (Şekil – 12.29 ve 12.30).

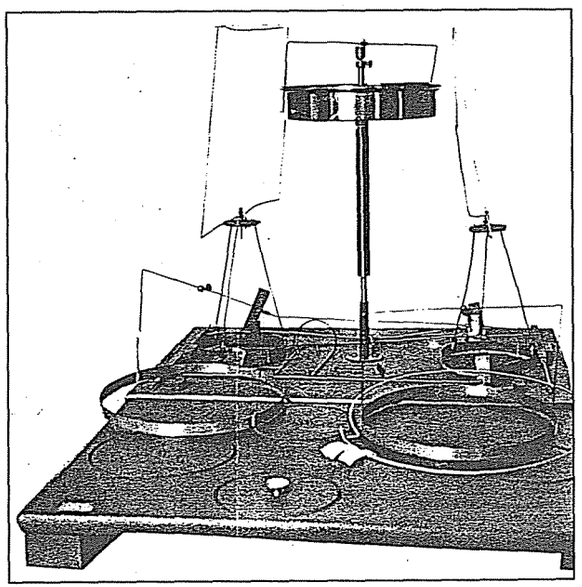
1802'de Bourg-en-Bresse'deki École Centrale'e matematik öğretmeni oldu Aynı yıl yayınlanan *Considération sur la théorie mathématique de jeu* adlı kitabı üzerine matematikçi Jérôme Lalande (1732 – 1807) ile matematikçi ve astronom Jean Baptiste Joseph Delambre'ın (1749 – 1822) tavsiyesiyle École Polytechnique'de matematik analiz okutmanı oldu ve 1809'da aynı okula matematik profesörü seçildi. Daha önce yeni İmparatorluk Üniversitesi'ne genel denetici seçilmişti ve bu görevini 1836'daki ölümüne kadar sürdürdü, 1820'de Paris Üniversitesi'nde yardımcı astronomi profesörü oldu ve 1824'de Collége de France'daki deneysel fizik kürsüsüne seçildi. Başlangıçta matematik üzerinde yoğunlaşmış olmakla birlikte 1806'da kimya ve 1814'de fizik ile ilgilenmeye başladı ve Avogadro hipotezini bağımsız olarak buldu.

Dillere ve dilbilimine de meraklı olan Ampére akım, galvanometre, selenoid gibi terimleri ortaya koydu ve *elektrodinamik* terimini ilk kez kullandı.

Şekil – 12.29: André – Marie Ampère. (1775 – 1836). [Grunmach ve Rosenboom, s. 549].

Şekil – 12.30: Ampére'in kendi çizdiği portresi. [Herivel, s. 34].

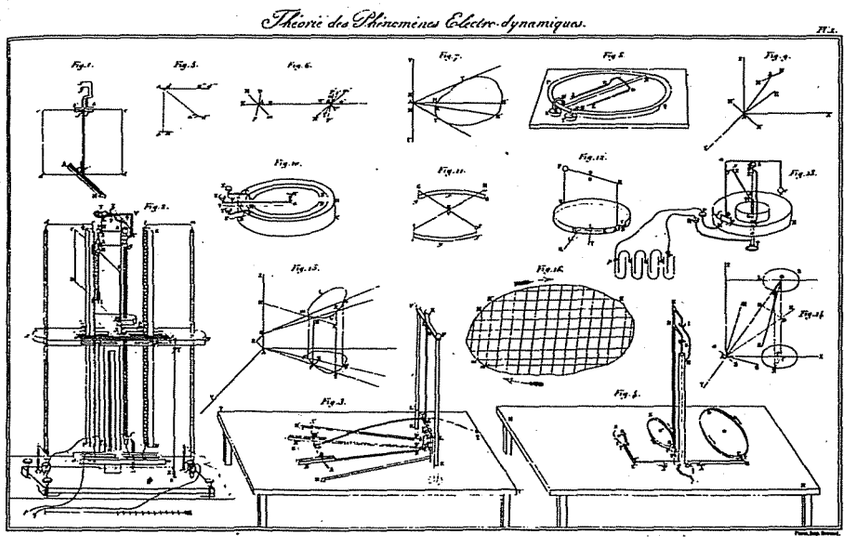
Hans Christian Oersted'in elektromagnetizm konusundaki buluşunu İsviçre'de iken öğrenen Académie des Sciences [Bilimler Akademisi]'nin Sekreteri François Jean Dominique Arago (1786 – 1853) Paris'e dönünce Académie des Sciences'ın 11 Eylül 1820 tarihli toplantısında bu buluşu anlatarak deneyini yaptı. Bunu izleyen Ampére deneyi tekrarladığı gibi deneylerini sürdürdü. Akademi'nin 18 Eylül 1820 tarihli toplantısına paralel iki telden aynı yönde akım geçtiğinde bunların birbirini itmesi ve zıt yönde akım geçtiğinde de birbirini çekmesi konusunda bir bildiri sundu ve deneyde yer magnetizminin etkisinin giderilmesi konusunda bir yöntem ortaya koydu. Akademi'nin Ekim ve Kasım aylarındaki toplantılarına sunduğu bir dizi bildiri ile elektrodinamiğin temel kavram ve yasalarını ortaya koydu. (Şekil – 12.31). Ampére magnetik etki sonucunda elektrik akımı oluştuğunu da buldu.



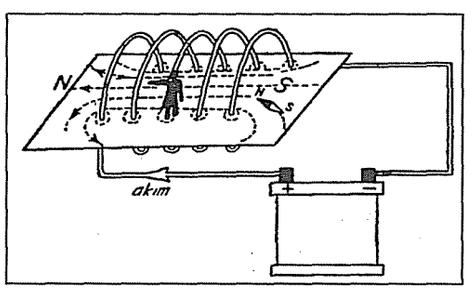
Şekil – 12.31: Ampére'in Berlin'de elektrodinamik yasalarını göstermek için kullandığı deney masası. [*Regards sur le Monde*, No. 37].

Ampére 1821 – 1825 arasında yaptığı çalışmaların sonuçlarını 1827'de yayınladığı *Mémoire sur la théorie mathématique des phénoménes électro-dynamique* adlı kitabında topladı. Burada dikkatle seçilmiş deneylerden yola çıkarak

kesin matematiksel bağıntılar ortaya koydu. Bütün bunları mıknatısın magnetik moleküllerden oluştuğu varsayımından yola çıkarak açıkladı. Akım şiddeti kavramını ve tanımını ortaya koydu. (Şekil – 12.31 ve 12.32).



Şekil- 12.31: Ampére'in 1827'de yayınlanan *Mémoire sur la théorie mathématique des phénoménes électro-dynamique* adlı anıtsal kitabında akım taşıyan elemanlar arasındaki kuvvetleri göstermek için kullandığı deney araçlardan bazılarını verdiği levha. [Herivel, s. 36].



Şekil – 12.32: Bir makarada oluşan magnetik alanın yönünü belirleyen Ampére kuralına göre, makaranın bir halkası üzerine akım ayaklarından girip başından çıkacak (veya elektronlar başından girip ayaklarından çıkacak) biçimde ve yüzü makaraya dönük olarak yatan bir gözlemcinin (Bonhomme d'Ampére) sol kolu kuzey ve sağ kolu da güney kutbunu gösterir.

Ampére 1834'de yayınlanan *Essai sur la Philosophie des Sciences* adlı kitabında elektrik alanındaki önemli katkılarını topladı. James Clerk Maxwell (1831 – 1879) 1873'de yayınlanan *Treatise on Electricity and Magnetism* adlı dev eserinde Ampére'i "Newton of Electricity" [Elektriğin Newton'u] olarak nitelendirmiştir.

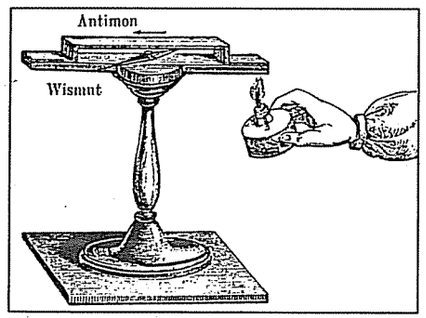
Michael Faraday (1791 – 1867)

Michael Faraday (1791 – 1867) bir nalbantın oğlu olarak 1791'de Londra yakınlarındaki Newington'da doğdu. (Şekil – 12.33). On üç yaşındayken bir ciltçinin yanında çıraklığa başladı. Burada bir yandan el becerisini geliştirirken öte yandan da ciltlenmek üzere getirilen kitapları geceleri büyük bir çaba ile okumaya başladı. Humphry Davy'nin Royal Institution'daki derslerini duyup bunları izlemeye başlayınca bilime yöneldi ve bir süre sonra Davy'nin dikkatini çekerek önce sekreteri ve 1813'de de laboratuvar asistanı oldu. Davy ile birlikte 1813 – 1814 yıllarında Avrupa'yı dolaştı. 1825'de Royal Institution'da Laboratuvar Yöneticisi ve 1833'de de Davy'nin yerine kimya profesörü oldu. Zamanla ruhsal bir çöküntü içine girdi ve belleği zayıfladı. 1858'de Kraliçe Victoria'nın kendisine bağışladığı Hampton Court yakınındaki eve yerleşti ve 1862'de bu evde inzivaya çekildi. XIX. yüzyılın en büyük ve en önde gelen deneycisi sayılan Michael Faraday kendine özgü bir coşku içinde verdiği konferanslar ile de ünlenmişti.

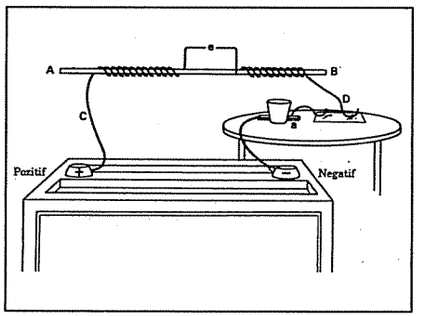
Şekil – 12.33: Michael Faraday. (1791 – 1867).

Faraday'in çalışmaları kimya ve elektrik olmak üzere iki alanı kapsar. Kimya alanında karbon ve klor bileşikleri üzerinde çalıştı. Kloru ilk kez 1823'de sıvılaştırdı, 1825'de benzeni izole etti, James Stodart (1760 – 1823) ile birlikte alaşımlı çelikler üzerine araştırmalar yaptı ve optik camların yapımına önemli katkılarda bulundu. Faraday'in elektrik üzerindeki çalışmaları üç grup altında toplanabilir.

1) Elektrik türlerinin özdeşliği: 1825'lere gelindiğinde elektrik üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda sürtünmeyle elde edilen *adi elektrik* (statik elektrik), kimyasal reaksiyonlar sonucunda pillerden elde edilen *voltaik* veya *metalik elektrik*, magnetik etkiler sonucunda elde edilen *magnetoelektrik*, farklı iki metalin ısıtılan uçlarının değdirilmesi sonucu oluşan *termoelektrik* (Şekil – 12.34)., torpedo balığı gibi canlıların ürettiği *canlı* veya *hayvansal elektrik* gibi değişik elektrik türleri ortaya çıkmıştı. Bunların birbiriyle özdeş oldukları varsayımından yola çıkan Faraday aynı etkileri gösterdiklerini kanıtlamak için bir dizi deney tasarlayarak uyguladı.[5] Ustaca tasarlanmış bu deneyler sonucunda başta voltaik elektrik olmak üzere farklı olduğu sanılan elektrik türlerinin aynı etkileri gösterdiğini saptadı. Buradan aynı etkileri gösteren elektrik türlerinin birbiriyle özdeş olması gerektiği sonucuna vardı. (Şekil – 12.35).



Şekil – 12.34: Termoelektrik: Bir metal çiftinin ısıtılması ile elektrik akımının elde edilmesi. [Grunmach ve Rosenboom, s. 566].



Şekil – 12.35: Faraday'in Voltaik elektrik deşarjını kanıtlamak için kullandığı deney düzeneği. [Harré, s. 188].

5 Rom Harré, *Büyük Bilimsel Deneyler*, Çeviren Sinan Kılıç, Ankara 1994, s. 185 – 192.

Faraday'ın deneysel sonuçlarının teorik açıklaması 1879'da İngiliz fizikçi Joseph John Thomson (1856 – 1940) arafından elektriğe ilişkin elektron teorisinin ortaya konulmasıyla yapıldı. Buna göre, elektriğin temel atomu eşit negatif yük taşıyan elektrondur ve elektrik üretiminin değişik yöntemlerinin tümünde yapılan iş elektron akımının serbest bırakılmasıdır.

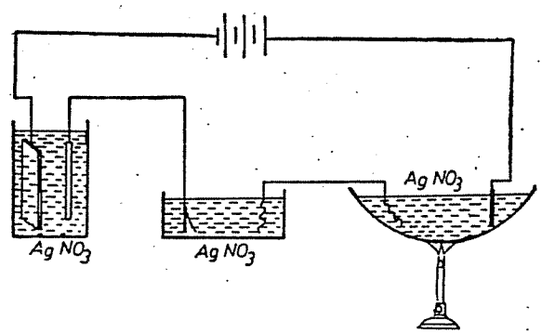
ÇİZELGE – 12.1
Faraday'in elektrik türlerinin özdeşliğini gösteren deneylerinin sonuçları
[Harré, s. 190]

	Fizyolojik etki	Manyetik sapma	Yapay mıknatıs	Kıvılcım	Isı etkisi	Kimyasal etki	Çekme ve itme	Sıcak havada deşarj
Voltaik elektrik	x	x	x	x	x	x	x	x
Adi elektrik	x	x	x	x	x	x	x	x
Magnetoelektrik	x	x	x	x	x	x	x	
Termoelektrik	x	x	+	+	+	+	+	
Hayvansal elektrik	x	x	x	+	+	x		

x = Deneysel olarak kanıtlanan etkiler.
+ = Deneysel olarak gözlenemeyip varolma olasılığı büyük olan etkiler.

2). Elektrokimya konusundaki çalışmaları: Elektrokimyanın gerçek kurucusu olan Faraday bu alandaki çalışma ve buluşlarının sonuçlarını 1834'de "On electro-chemical decomposition" [Elektrokimyasal bozunma üzerine] adı altında *Philosophical Transactions of the Royal Society*'de yayınlamıştır. Burada birinci olarak konu ile ilgili günümüzde de kullanılan elektrokimya, elektroliz, elektrolit, kutup, anot, katot, iyon, anyon, katyon, elektronegatif, elektropozitif gibi temel terimleri Yunanca sözcüklerden yola çıkarak türetmiştir. İkinci olarak elektroliz olayını inceleyerek elektrolizin *Faraday yasaları* olarak anılan temel yasalarını ortaya koymuştur.

Birinci yasa: Bir elektroliz olayında ayrışan elektrolitin kütlesi, sadece voltametreden geçen elektrik miktarına bağlı olup onunla doğru orantılıdır. (Şekil – 12.36).



Şekil – 12.36: İçlerinde elektrolit olarak farklı sıcaklık ve yoğunluklarda (gümüş nitrat, $AgNO_3$) çözeltisi bulunan değişik voltametrelerden aynı akım geçirildiğinde katotların üzerinde toplanan gümüş miktarları birbirine eşittir.

Faraday buradan yola çıkarak elektrik miktarını ölçmek için bir *volta-elektrometre* yapmıştır. Elektrik miktarının ve akım şiddetinin pratik birimleri bu yasaya göre tanımlanır. Buna göre, *1 Coulomb bir gümüşlü voltametrede 1,118 mg gümüş açığa çıkaran elektrik miktarıdır. 1 Ampere (A) ise 1 saniyede 1,118 mg gümüş açığa çıkaran akımın şidde-tidir.*

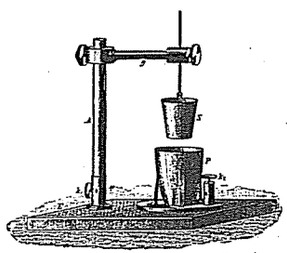
Q coulomb elektrik miktarı,

$$m = Q\ (coulomb) \times 1{,}118 = I\ (A) \times t\ (s) \times 1{,}118\ mg$$

gümüş açığa çıkarır. Buna göre 1 eşdeğer gram (108 g) gümüş açığa çıkaran elektrik miktarı,

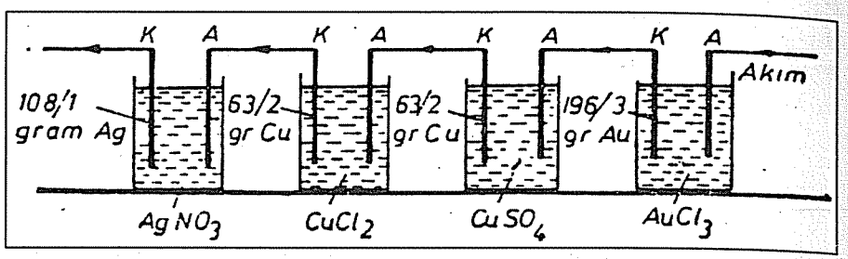
$$Q = m/1{,}118 = 108.000/1{,}118 = 96500\ coulomb$$

olur. (Şekil – 12.37).



Şekil – 12.37: Elektroliz sırasında ayrılan gümüş miktarını tartarak geçen elektrik miktarının bulunmasında kullanılan gümüşlü voltametre.
[Grunmach ve Rosenboom, s. 557].

İkinci yasa: Farklı elektrolitlerden aynı elektrik miktarı geçirildiğinde açığa çıkan metal miktarları bunların eşdeğer ağırlıkları ile doğru orantılıdır. (Şekil – 12.38).



Şekil – 1.38: Faraday'in ikinci yasasına göre elektrolizde metallerin eşdeğer ağırlıkları ile orantılı olarak ayrılması.

96500 coulomb elektrik miktarı 1 eşdeğer gram (= 108 g) gümüşü açığa çıkardığına göre aynı elektrik miktarı 63/2 g bakır, 197/3 g altın ve genel olarak $\boldsymbol{A/n}$ g metal açığa çıkarır. Burada $\boldsymbol{A}$ = atom ağırlığı ve $\boldsymbol{n}$ = değerliktir. Buna göre, bir elektrik yükünün ($\boldsymbol{Q = I.t}$) açığa çıkarabileceği metal miktarı,

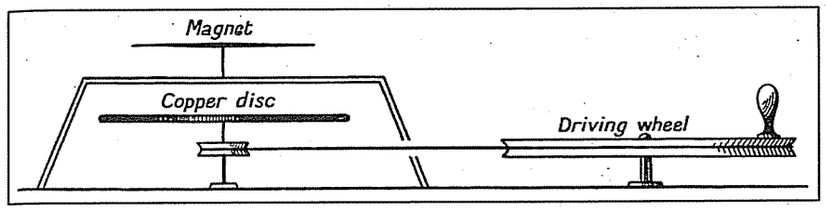
$$\boldsymbol{m = \frac{Q.A}{96500.n} = \frac{I.t.A}{96500.n}} \text{ gram}$$

olarak bulunur.

3) Elektromagnetizma üzerindeki çalışmaları: Danimarkalı fizikçi Hans Christian Oersted (1771 – 1851) 1819'da bir rastlantı sonucunda bir magnetik iğnenin içinden akım geçen bir tele dik açılı konuma geldiğini gözledi ve bu sonucu Temmuz 1820'de Latince bir yazı ile Avrupa'daki bilim çevrelerine duyurdu. Paris'de André – Marie Ampère (1775 – 1836), François Jean Dominique Arago (1786 – 1853) ve Jean Baptiste Biot (1774 – 1862) deneyi hızla tetrarlayıp bu alandaki araştırmaları sürdürerek magnetik alan ile elektrik akımı arasındaki yasaları kısa sürede ortaya koydular. (Şekil – 12.39).

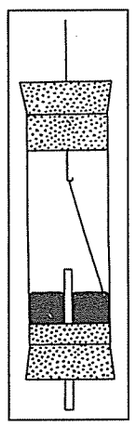
İngiltere'de Royal Institution'da çalışan Humphry Davy Oersted'in deneyini Ekim 1820'de *Annales of Philosophy* dergisinden öğrendi. Davy Faraday'in yardımıyla deneyi

tekrarladı ve William Hyde Wollaston'un (1766 – 1828) önerisi üzerine Faraday'in bulunmadığı bir sırada başarısız bir deney yaptı. Akım geçen bir tel ve serbestçe dönen bir mıknatıs kullanarak yaptığı deneyde tele yaklaştırılan kutbun döndüğünü gözlemiş olmakla birlikte bunu değerlendiremedi.

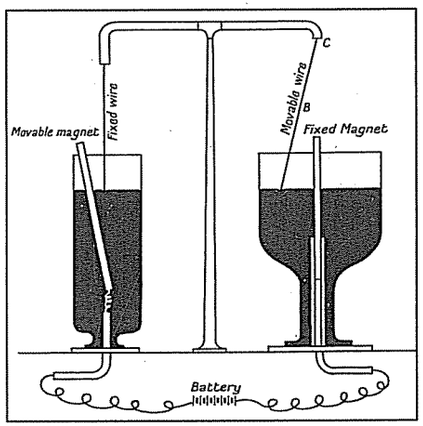


Şekil – 12.39: Arago'nun mıknatısın altında döner bakır diski. [Turner, s. 58].

Faraday 3 Eylül 1821 günü bilim tarihinin en önemli deneylerinden birini yaptı. İçinden akım geçen bir telin bir mıknatısın sabit kutbu çevresinde dönmesini gerçekleştirdi. Bu buluş ilk elektrik motoruydu. (Şekil – 12.40 ve 12.41).

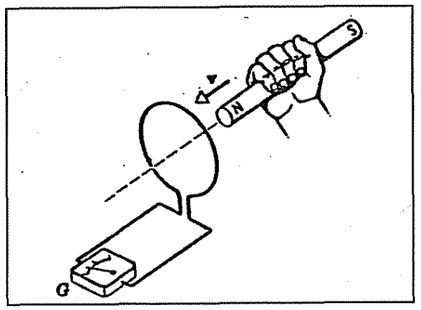


Şekil – 12.40: Faraday'in ilk elektrik motoru. Tüpün altındaki mantardan sabit bir mıknatıs geçirilmiş ve tüpe biraz cıva konulmuştur. Üstteki mantardaki platin telin ucuna serbestçe dönebilen ve bir ucu cıvaya değen bir tel takılmıştır. [Turner, s. 87].

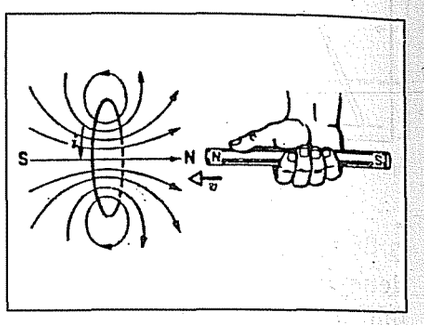


Şekil – 12.41: Sağda Faraday'in sabit bir mıknatıs çevresinde dönen hareketli bir telden oluşan ilk elektrik motoru ve solda sabit bir telin çeversinde dönen hareketli bir mıknatısdan oluşan ilk dinamosu. [Turner, s. 87].

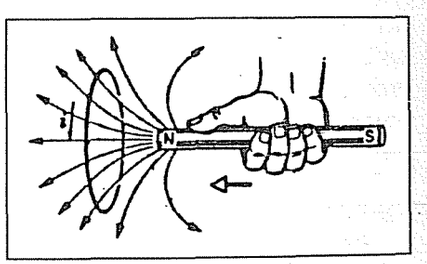
Faraday 1831'de magnetizma ile elektrik arasındaki ilişkinin statik olmayıp dinamik olduğunu gösterdi. Bir bobine bir mıknatıs yaklaştırıldığında bobin üzerinde bir elektrik akımı (indüksiyon akımı) oluştuğunu gözledi ve bu buluşunu 24 Kasım 1831'de Royal Society'de açıkladı. Mıknatıs ileri veya geri hareket ettirildiği sürece akım oluşur ve mıknatıs sabit tutulduğunda akım kesilir. (Şekil – 12.42, 12.43 ve 12.44).



Şekil – 12.42: Mıknatıs tel halkaya yaklaştırılırken devrede bir akım oluşur ve galvanometrenin sapması ile gözlenir. Kuzey ve güney kutupların halkaya yaklaştırılması sonucu oluşan akımların yönleri birbirine zıttır. Mıknatıs hareket etmediği zaman akım oluşmaz.



Şekil – 12.43: Bir tel halkaya bir mıknatısın yaklaştırılması sırasında belirtilen yönde bir indüksiyon akımı oluşur. Devredeki akımın oluşturduğu magnetik alan mıknatıs çubuğunun hareketine karşı koyacak yöndedir.



Şekil – 12.44: Mıknatıs tel halkaya yaklaştırıldığında devreden geçen magnetik akı da artar.

Faraday indüksiyon yasasına göre, bir devrede oluşan indüksiyon akımının elektromotor kuvveti devreden geçen magnetik akı değişimine eşittir:

$$\varepsilon\ (\text{Volt}) = -\frac{d\Phi_B\ (\text{Weber})}{dt\ (\text{saniye})}$$

Buradaki (–) işareti indüksiyon elektromotor kuvvetinin (EMK) yönünü verir. Halkadan belirli bir anda geçen magnetik alan çizgilerinin sayısı önemli olmayıp belirli bir zaman aralığında halkadan geçen magnetik alan çizgilerinin sayısındaki değişimin sonucu olarak bir elektromotor kuvvet oluşur. Bir bobin durumunda toplam elektromotor kuvvet her bir sarım için oluşan elektromotor kuvvetlerin toplamına eşittir. Birbirine çok yakın olan sarımların her biri için magnetik akıdaki değişim ve bunun sonucunda oluşan elektromotor kuvvetler birbirine eşittir. N sarımlı bir bobin için yasa,

$$\varepsilon = -N\cdot\frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{d(N\Phi_B)}{dt}$$

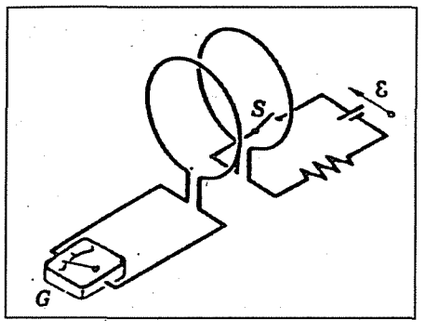
biçiminde yazılır.

Heinrich Friedrich Lenz (1804 – 1865) tarafından 1834'de bulunan ve kendi adıyla anılan yasa oluşan indüksiyon akımının yönünü belirler. Lenz yasasına göre, indüksiyon akımı kendini doğuran nedene karşı koyacak yöndedir. Faraday yasasındaki eksi işareti bu karşı koymayı gösterir.[6]

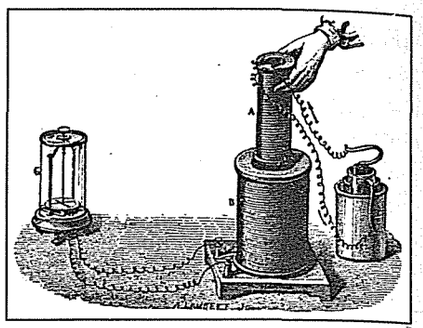
Faraday 21 Ağustos 1831 günü yaşamsal önemde bir deney yaptı. Bir demir halka çevresine sarılı bir bobinden elektrik akımı geçirildiğinde bunun yakınında bulunan benzer bir devrede indüksiyon yoluyla elektrik akımı oluştuğunu gözledi. Bu deney ile transformatörün temel ilkesini ortaya koymuş oldu. (Şekil – 12.45 ve 12.46).

---

6 İçinden akım geçen halka biçimindeki bir devre magnetik bir dipol gibi davranır. Halkanın bir yüzeyi kuzey ve öteki yüzeyi de güney kutup gibidir. Lenz yasasına göre, halka biçimindeki devereden geçen akım, halkanın mıknatısa bakan yüzünü kuzey kutup yapacak biçimde yönelir. Mıknatısın ve halka biçimindeki devrenin kuzey kutupları birbirlerini iterler ve bu itme akımı oluşturan nedene, yani mıknatısın halkaya yaklaşmasına karşı koyacak yöndedir. Sağ el kuralına göre, devrede oluşan akım, magnetik alan çizgilerinin halkanın sağ yüzünden (kuzey kutup) çıkacağı yöndedir. Başka bir deyimle, akım halka üzerinden saat yönünde geçer.

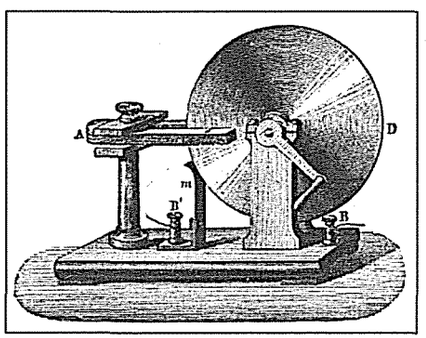


Şekil – 1.45: Yan yana iki sargı devresinde S anahtarı kapatılıp sağdaki devdeden akım geçtiğinde soldaki devredeki galvanometre aniden sapar ve gene aniden sıfır konumuna geri döner.

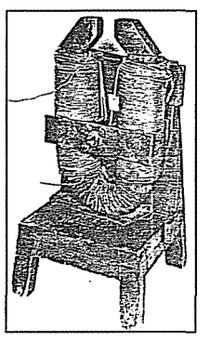


Şekil – 1.46: İndüksiyon akımının oluşumu. Üstteki bobin aşağı ve yukarı doğru hareket ettirildiğinde alttaki bobinde oluşan indüksiyon akımı bir elektrometre ile saptanmaktadır.

Faraday 28 Ekim 1831 günü başka bir tarihsel deney yaptı. Bu deneyde kuvvetli bir mıknatısın kutupları arasındaki bir bakır diski döndürdüğünde bir elektrik akımının oluştuğunu gözledi. Bu dinamonun temel ilkesiydi. (Şekil – 12.47). Faraday büyük boyutlu elektromıknatıslar da yaptı. (Şekil- 12.48).



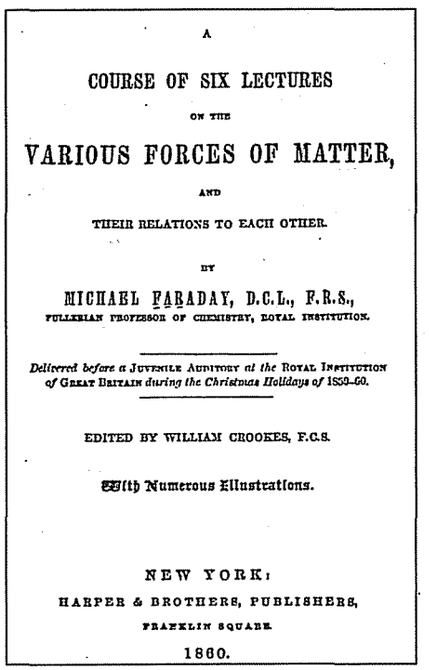
Şekil – 12.47: Dinamonun temel ilkesini ortaya koyan ve bir mıknatısın iki kutbu arasında dönen bakır levha.



Şekil – 12.48: Michael Faraday tarafından yapılmış olan büyük bir elektromıknatıs.

Faraday böylece transformatör, dinamo ve elektrik motoru olmak üzere elektrik endüstrisinin çok önemli üç aracının temel ilkelerini ortaya koymuş ve böylece

elektromagnetizma gerçek anlamda ortaya çıkmış oldu. Mekanik bir hareket sonucunda elektrik akımı üretmek (dinamo) veya elektrik akım ile mekanık hareket oluşturmak (elektrik motoru) olanağının varlığını ortaya koydu. Bununla birlikte, elektrik endüstrisinin kurulabilmesi için 50 yıl daha beklemek gerekecekti.



A

COURSE OF SIX LECTURES

ON THE

VARIOUS FORCES OF MATTER,

AND

THEIR RELATIONS TO EACH OTHER.

BY

MICHAEL FARADAY, D.C.L., F.R.S.,

FULLERIAN PROFESSOR OF CHEMISTRY, ROYAL INSTITUTION.

Delivered before a JUVENILE AUDITORY *at the* ROYAL INSTITUTION *of* GREAT BRITAIN *during the Christmas Holidays of* 1859–60.

EDITED BY WILLIAM CROOKES, F.C.S.

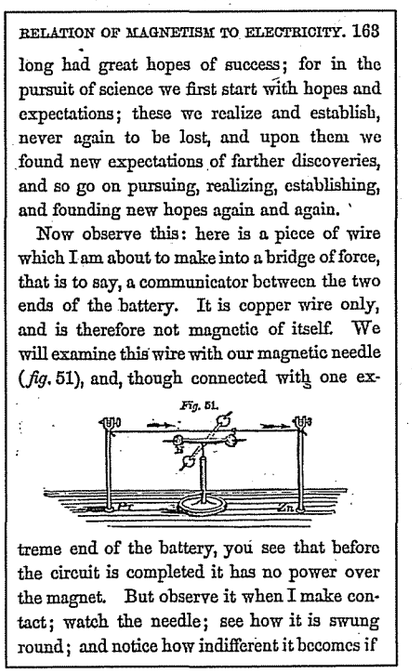
With Numerous Illustrations.

NEW YORK:

HARPER & BROTHERS, PUBLISHERS,

FRANKLIN SQUARE.

1860.



RELATION OF MAGNETISM TO ELECTRICITY. 163

long had great hopes of success; for in the pursuit of science we first start with hopes and expectations; these we realize and establish, never again to be lost, and upon them we found new expectations of farther discoveries, and so go on pursuing, realizing, establishing, and founding new hopes again and again.

Now observe this: here is a piece of wire which I am about to make into a bridge of force, that is to say, a communicator between the two ends of the battery. It is copper wire only, and is therefore not magnetic of itself. We will examine this wire with our magnetic needle (*fig.* 51), and, though connected with one ex-

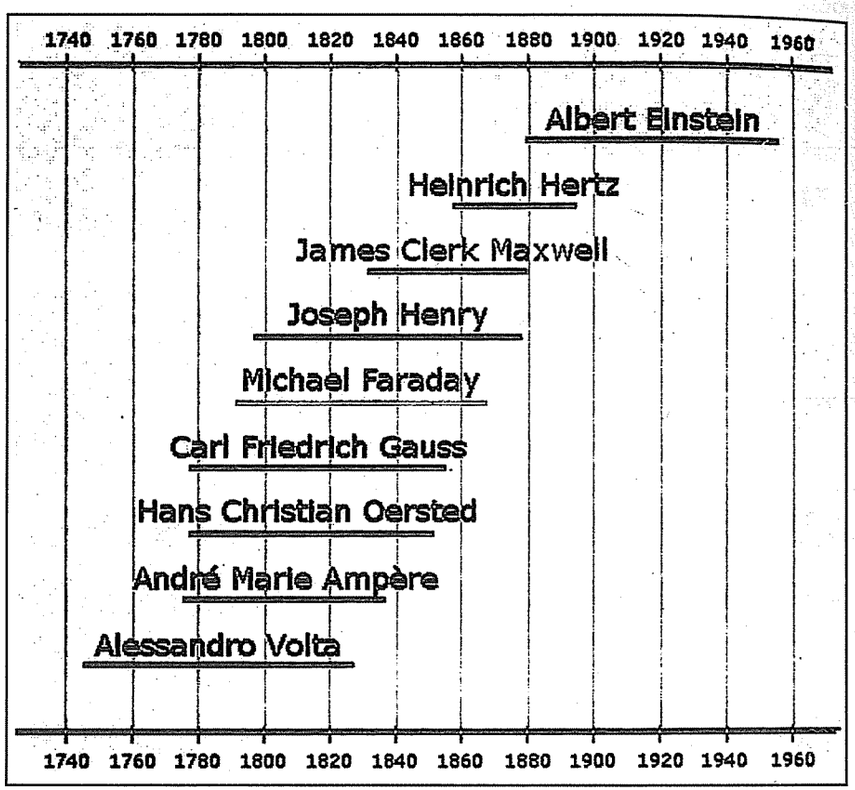
Fig. 51.

treme end of the battery, you see that before the circuit is completed it has no power over the magnet. But observe it when I make contact; watch the needle; see how it is swung round; and notice how indifferent it becomes if

Şekil – 12.49: Michael Faraday'in 1860'da yayınlanan bir kitabının kapak sayfası (solda) ile elektrik akımının magnetik etkisini anlatan sayfası ve ilgili şekil (sağda).

Faraday bazı başarısız girişimlerden sonra 13 Eylül 1845'de polarize ışığın polarizasyon düzleminin kuvvetli bir magnetik alanda döndüğünü saptadı ve bunu "Thoughts on Ray – Vibration" başlığı altında 1846'da *Philosophical Magazine*'de yayınladı. 1862'deki son araştırmalarında magnetik alanın ışık spektrumu üzerine etkisini saptamaya çalıştı ise de başarısız oldu. Kuvvetli bir magnetik alanda spektrum çizgilerinin genişlemesi yirmi yıl sonre Pieter Zeeman (1865 – 1943) tarafından gösterildi. Faraday 1834'de

Amerikalı Joseph Henry'den bağımsız olarak özindüksiyon (selfindüksiyon) olayını da buldu. Faraday'in uzun vadeli projesinin döneminin fiziğince bilinen tüm kuvvetlerin (elektrik, magnetizma, ısı ve ışık) arasındaki ilişkileri bulmak olduğu not defterlerinden anlaşılmaktadır.



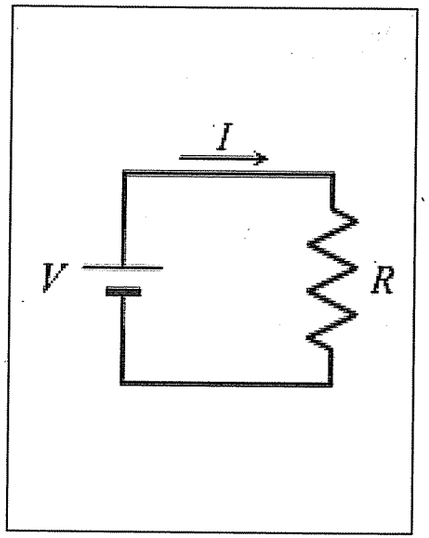
Şekil – 2.50: Michael Faraday ve XIX. yüzyılda elektrik ile ilgili önde gelen bilim insanları.

Georg Simon Ohm (1787 – 1854) ve direnç

Humphrey Davy 1821'de bir metal telden elektrik geçtiğinde iletkenliğin özellikle telin çapına ve metalin cinsine bağlı olduğunu ortaya koydu. Bu konu daha önce Henry Cavendish tarafından da gözlenmiş olmakla birlikte sonuçları yayınlamamıştır.

Bir Alman fizik öğretmeni olan Georg Simon Ohm (1787 – 1854) iletkenlik konusu ile ilgilenmeye başladı. Aynı çapta farklı boylarda, aynı boyda fakat farklı çaplarda ve aynı boy ve çapta fakat farklı metallerden yapılmış tellerle bir dizi deney yaptı. Telin direncinin geçen elektrik miktarından bağımsız olduğunu buldu. (Şekil – 12.51 ve 12.52).

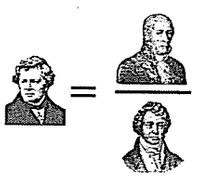
Şekil – 12.47: Georg Simon Ohm. (1787 – 1854).



Şekil – 12.48: Ohm yasasına ilişkin elektrik devresi.

Araştırmalarını sürdürerek 1826 ve 1827'de sonuçlarını açıklayan bir teori ortaya koydu. Buna göre, elektrik bir metal içinde ısı akışına benzer biçimde tanecikten taneciğe geçer ve burada geçişi sağlayan etken elektriğin gerilimidir. Buna göre, bir telden elektrik geçişine ilişkin Ohm yasası,

$$R = \frac{V \text{ (Volt)}}{I \text{ (Ampére)}}$$



dir. Yani, belirli bir iletken için gerilimin ***(V)*** akım şiddetine ***(I)*** oranı ***(R)*** sabittir ve buna *iletkenin direnci* adı verilir. Direnç birimi olarak daha sonra *Ohm* kabul edilmiştir. Bir iletkenin

direnci, ρ = iletkenin cinsine bağlı olan özgül direnç, l = iletkenin boyu ve s = iletkenin kesiti olmak üzere,

$$R = \rho \cdot \frac{l}{s}$$

bağıntısı ile hesaplanır. Buna göre, bir iletkenin direnci maddenin cinsine bağlı olup boyu ile doğru ve kesiti ile de ters orantılıdır.

BÖLÜM – 13

ELEKTRİK TEKNOLOJİSİ

SINAİ PİLLER

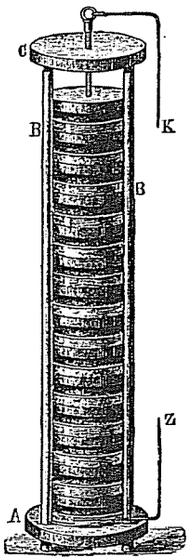
Kimyasal piller (Sınaî piller)

Bir kimyasal reaksiyon sonucunda elektrik akımı üreten sistemlere *elektrokimyasal pil* veya *kimyasal pil* adı verilir. Piller iki sınıfa ayrılırlar: (1) Birincil veya Galvanik piller ve (2) İkincil piller veya akümülatörler. Birincil piller, pili oluşturan elektrotlar ve elektrolit çözeltilerindeki maddeler tükeninceye kadar akım verirler ve pildeki kimyasal reaksiyon tersinir değildir. İkincil piller ise gene bir kimyasal reaksiyon sonucunda elektrik akımı üretirler. Ancak, buradaki kimyasal reaksiyon tersinir olup pilin tükenmesinden sonra dışardan akım verilerek pilin kimyasal yapısı yeniden başlangıç durumuna dönüştürülür.

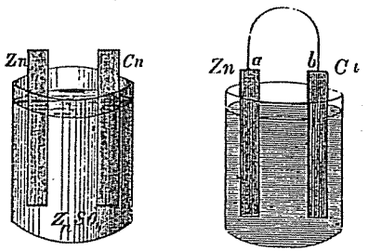
Çeşitli amaçlarla kullanmak üzere elektrik akımı elde etmek için kullanılan pillere *sınaî piller* adı verilir. Pilin çalışması sırasında anotdaki metal sürekli olarak çözünerek harcandığından piller pahalı üreteçlerdir. Pillerin düşük maliyetle uzun süre ve düzgün akım vermeleri istenilir. Çok sayıda değişik tür pil yapılmış olmakla birlikte bunların içinden birkaç tanesi yaygınlık kazanmıştır.

Volta pili (1800)

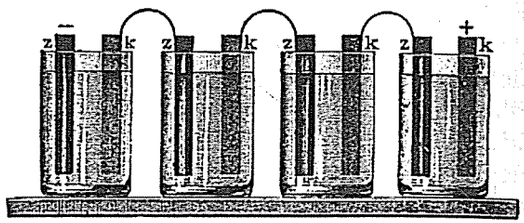
Volta pili Alessandro Volta (1745 – 1827) tarafından yapılmış olan ilk galvanik pildir. İlk biçiminde anot (–) çinko ve katot (+) gümüştür ve bu iki metal arasına tuzlu su emdirilmiş kâğıt veya bez konulmuştur. Daha sonra gümüş yerine bakır kullanılmış ve elektrotlar bir sülfat asidi (H_2SO_4) çözeltisine batırılmıştır. (Şekil – 13.1, 13.2 ve 13.3).



Şekil – 13.1: Volta pilinin ilk biçimi ile oluşturulmuş bir batarya. [Grunmach ve Rosenboom, s. 531].



Şekil – 13.2: Volta pilinin geliştirilmiş biçimi.



Şekil – 13.3: Volta pilleri ile seri bağlanarak oluşturulmuş bir batarya. [Grunmach ve Rosenboom, s. 530].

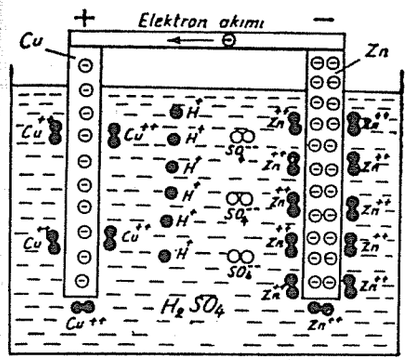
Pilin çalışması sırasında anotta yükseltgenme meydana gelir ve metalik çinko Zn^{2+} iyonu biçiminde çözünerek çözeltiye geçerken elektronlarını çinko üzerinde bıraktığından anot (–) işaretlidir. Buna karşılık katotta H^+ iyonları elektron alarak indirgenirler ve elektron kaybeden katot (+) işaretlidir.[1] Pilin çalışması sırasında çinko anot çözünürken katotda hidrojen gazı çıkar. (Şekil – 13.4 ve 13.5).

$Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e$ (Anot: yükseltgenme)
$2H^+ + 2e \rightarrow H_2$ (Katot: indirgenme)

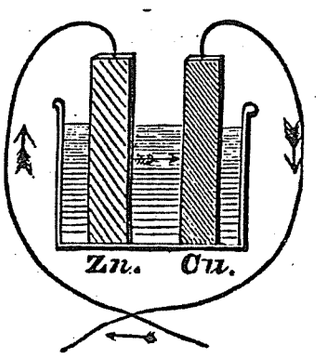
$Zn + 2H^+ \rightarrow Zn^{2+} + H_2$ (Pil reaksiyonu)

1 Elektrokimyasal pillerde anot yükseltgenmenin olduğu elektrotdur ve bu sırada anotdan çözülerek ayrılan iyonlar elektronlarını anot üzerinde bıraktıklarından (–) işaretlidir. Buna karşılık katot indirgenmenin olduğu elektrotdur ve burada katotdan elektron alındığından katot (+) işaretlidir. Elektroliz olayında ise dışardan elektrik akımı verilerek pil reaksiyonunun tersi gerçekleştirildiğinden anot (+) ve katot (–) işaretli olur. Ancak gene anotda yükseltgenme ve katotda indirgenme meydana gelir.

Pilin elektromotor kuvveti 1 Volt olmakla birlikte, pildeki kimyasal reaksiyon sonucu oluşan hidrojen gazının bakır elektrot çevresinde toplanması (polarizasyon veya kutuplaşma) sonucunda gerilim düşer ve bir süre sonra akım vermemeye başlar. Bu nedenle pratik olarak kullanılabilir bir pil değildir. Daha sonra yapılan pillerde kutuplaşmayı önlemek amacıyla çeşitli sistemler geliştirilmiştir.



Şekil – 13.4: Volta pilinin çalışma şeması.



Şekil – 13.5: Faraday'e göre Volta pili. [Faraday, s. 149].

Daniell pili (1836)

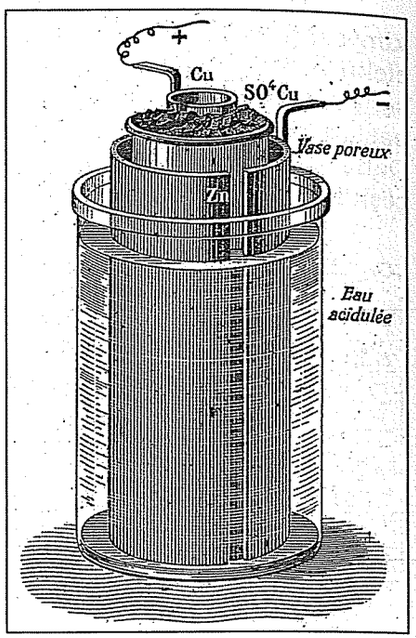
İngiliz fizikçi John Frederick Daniell (1790 – 1845) (Şekil – 13.6) 1836'da Volta pilini geliştirerek kendi adıyla anılan pili yapmıştır. (Şekil – 13.7 ve 13.8). Daniell pilinde anot (-) sülfat asidi (H_2SO_4) çözeltisine batırılmış bir çinko çubuk ve katot (+) bakır sülfat ($CuSO_4$) çözeltisine batırılmış bir bakır çubuktur. Sülfat asidi ve bakır sülfat çözeltileri sırsız porselen veya pişmiş topraktan yapılmış yarıgeçirici bir cidar ile birbirinden ayrılmıştır. (Şekil – 13.9). Pil reaksiyonu,

$Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e$ (Anot: yükseltgenme)
$Cu^{2+} + 2e \rightarrow Cu$ (Katot: indirgenme)

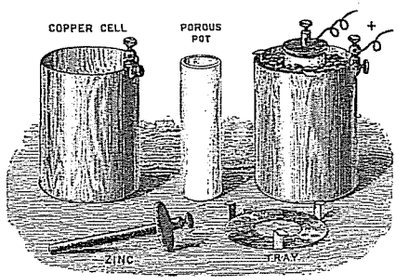
$Zn + Cu^{2+} \rightarrow Zn^{2+} + Cu$ (Pil reaksiyonu)

biçimindedir.

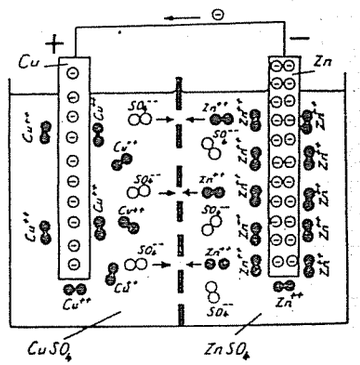
Şekil – 13.6: John Frederick Daniell. (1790 – 1845).



Şekil – 13.7: Diyaframlı Daniell pilinin genel görünümü.



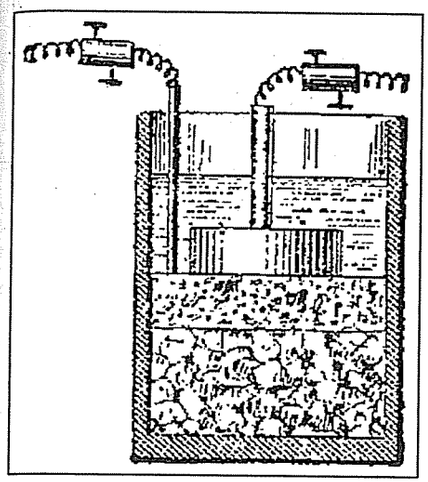
Şekil – 13.8: Daniel pilini oluşturan kısımlar.



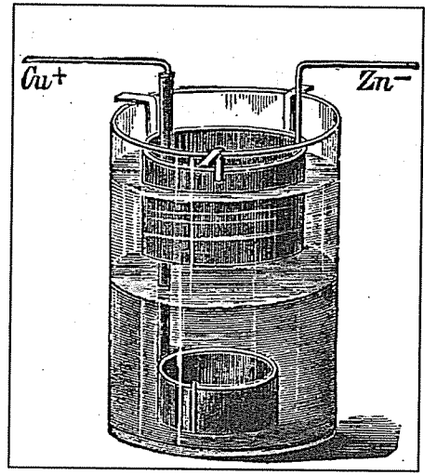
Şekil – 13.9: Daniell pilinin çalışma şeması.

Bu tür pillere *diyaframlı pil* adı verilir. J. C. Fuller 1853'de sülfat asidi yerine çinko sülfat ($ZnSO_4$) çözeltisi kullanmıştır. Elektromotor kuvveti 1,02 Volt olan bu pil kısa sürede telgrafçılıkta yaygın olarak kullanılmaya başlanılmıştır.

Daniell pilinin sıcak tropik bölgelerde kullanılabilecek biçimde geliştirilmesi sonucunda 1862'de *Minotto pili* ortaya çıkmış-tır. (Şekil – 13.10). Gene 1860'larda Fransız Callaud tarafından diyaframsız Daniell pili yapılmıştır. (Şekil – 13.11). Bu pil özellikle elektrikli telgrafta yaygın olarak kullanımıştır.



Şekil – 13.10: Minotto pili. Cam kavanozun dibinde bakır levha ve bunun üzerinde katı bakır sülfat parçaları vardır. Bunun üzerine bir tabaka kum ve onun üzerine de çinko levha ile asitli su konulmuştur.



Şekil – 13.11: Callaud pili. Bakır levha altta ve çinko levha üsttedir. Yoğunluğu daha büyük olan bakır sülfat çözeltisinin üzerine yoğunluğu daha az olan çinko sülfat çözeltisi konulmuştur.

Leclanché pili (1866)

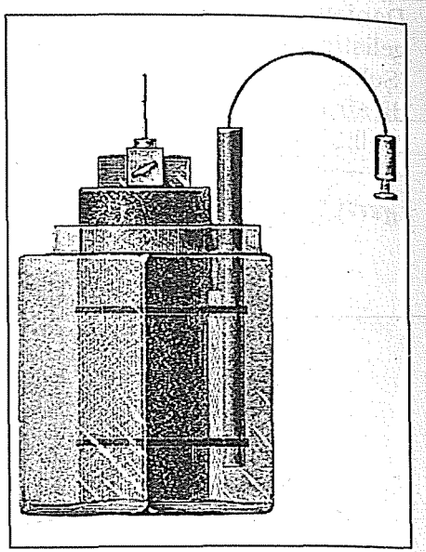
Georges Leclanché (1839 – 1892) tarafından. (Şekil – 13.12) 1866'da yapılan bu pilde anot (–) bir çinko çubuk ve katot (+) bir kömür çubuktur. Bu elektrotlar amonyum klorür (NH_4Cl, nişadır) çözeltisine batırılmış ve kutuplaşmayı önlemek için kömür çubuğun çevresi mangan dioksit (MnO_2) ile sarılmıştır. (Şekil – 13.13 ve 13.14). Pil reaksiyonu aşağıdaki gibidir. (Şekil – 13.15).

$Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e$ (Anot)

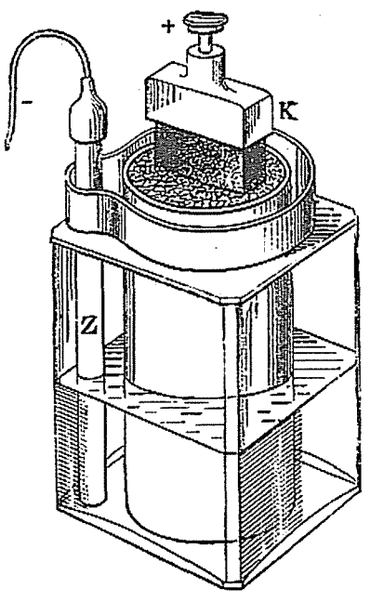
$2MnO_2 + 2NH_4^+ + 2e \rightarrow Mn_2O_3 + 2NH_3 + H_2O$ (Katot)

$$\mathbf{Zn + 2MnO_2 + 2NH_4Cl \rightarrow ZnCl_2 + Mn_2O_3 + 2NH_3 + H_2O}$$

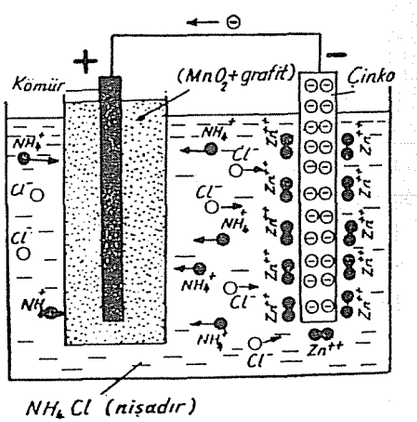
Şekil – 13.12: Georges Leclanché. (1839 – 1892).



Şekil – 13.13: Leclanché pilinin genel görünümü. [Grunmach ve Rosenboom, s. 533].



Şekil – 13.14: : Leclanché pilinin genel görünümü.



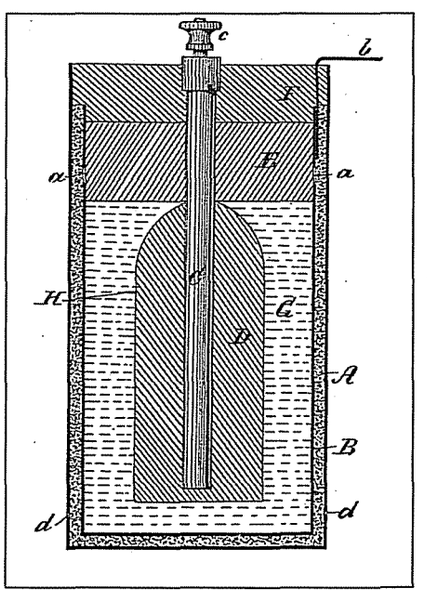
Şekil – 13.15: Leclanché pilinin çalışma şeması.

Elektromotor kuvveti 1,5 Volt olan bu pilin tek kusuru sürekli kullanım durumunda az da olsa bir kutuplaşmanın ortaya çıkmasıdır. Biraz bekletmekle kutuplaşma ortadan kalktığından kesikli kullanım için daha uygundur.

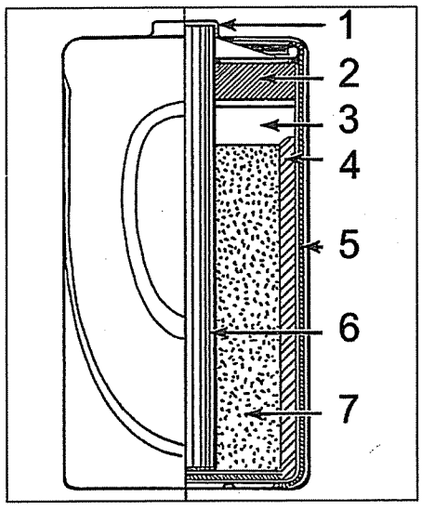
Leclanché 1871'de gözenekli kabı ortadan kaldırarak mangan dioksidin bir bağlayıcı madde ile preslenmesi yoluyla elde edilen bir çift bloğu karbonun çevresine lâstik bantlarla tutturdu. Daha sonra gözenekli kap yerine kanaviçe bir torba ve daha az direnç için çinko çubuk yerine çinko levha kullanmaya başladı. 1876'da amonyum klorür çezeltisine nişaşta katarak jelleştirdi.

1885'de Alman hekim ve mucit Carl Gassner (1855 – 1942) jelleştirme yöntemini geliştirdi ve kapalı ve taşınabilir kuru pili gerçekleştirdi. Gassner kuru pilin patentini 1886'da Almanya'da ve 1887'de Amerika'da aldı. Kuru pil taşınabilir bir enerji kaynağı olarak devrim yarattı ve günümüzde de vazgeçilmez bir enerji kaynağı olarak önemini korumuktadır. (Şekil – 13.16, 13.17, 13.18 ve 13.19).

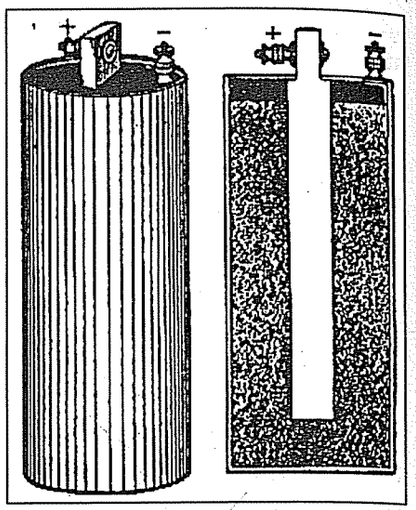
Şekil – 13.16: Carl Gassner. (1855 – 1942).



Şekil – 13.17: Gassner'in kuru pil için Amerika'da aldığı patentinde verdiği şekil. [USP 439.151].



Şekil – 13.18: Bir kuru pilin ayrıntılı kesiti. (1) pirinç başlık, (2) ağzı kapayan plastik mühür, (3) genleşme hacmı, (4) gözenekli karton, (5) çinko kutu, (6) karbon çubuk ve (7) kimyasal karışım.



Şekil – 13.19: Bir kuru pil ve kesiti. Pilin dış kabı çinko olup jelleştirilmiş elektrot içine karbon elektrot doğrudan batırılmıştır.

Bunsen pili

Alman kimyacı Robert Wilhelm Bunsen (1811 – 1899) tarafından (Şekil – 13.20) yapılan bu pilde anot (–) bir çinko levha ve katot (+) karbondur. Karbon katot boru biçiminde yapılmış olup seyreltik nitrat asidi çezeltisine batırılmıştır. Bunun içine yerleştirilmiş olan gözenekli bir kabın içinde seyreltik sülfat asidi çözeltisi ve çinko anot bulunur. Buna göre, Bunsen pili diyaframlı tipte bir pildir. Ucuz olması nedeniyle özellikle elektrolitik kaplama [galvanoplasti] işlemlerinde yaygın olarak kullanılmıştır. (Şekil – 13.21, 13.22, ve 13.23). Bunsen pilindeki kimyasal reaksiyon,

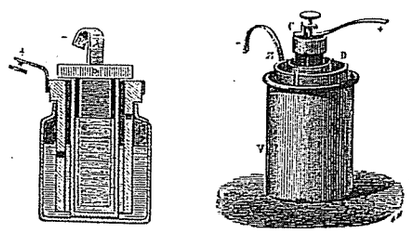
$Zn \rightarrow Zn^{2+} + 2e$ (Anot: yükseltgenme)

$2NO_3^- + 4H^+ + 2e \rightarrow 2NO_2\uparrow + 2H_2O$ (Katot: indirgenme)

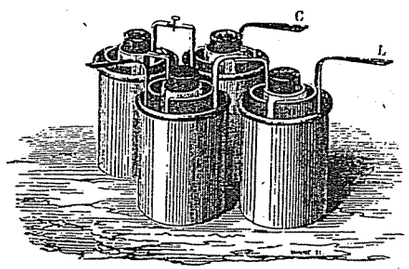
$$\mathbf{Zn + 2NO_3^- + 4H^+ \rightarrow Zn^{2+} + 2NO_2\uparrow + 2H_2O}$$ (Pil)

biçiminde yürür. Pilin kötü yanı zararlı NO_2 gazının çıkışıdır.

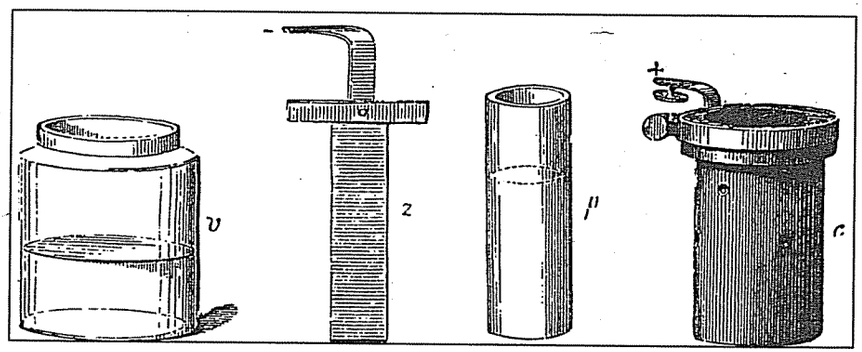
Şekil – 13.20: Robert Wilhelm Bunsen. (1811 – 1899).



Şekil – 13.21: Bunsen pilinin kesiti ve dış görünüşü.



Şekil – 13.22: Dört Bunsen pilinden oluşturulmuş bir batarya.



Şekil – 13.23: Bunsen pilinin bölümleri. (v) porselen veya pişmiş topraktan pil kabı ve içinde sülfat asidi çözeltisi, (z) çinko levha, (p) gözenekli kap ve (c) karbon silindir.

KURŞUNLU AKÜMÜLATÖRLER

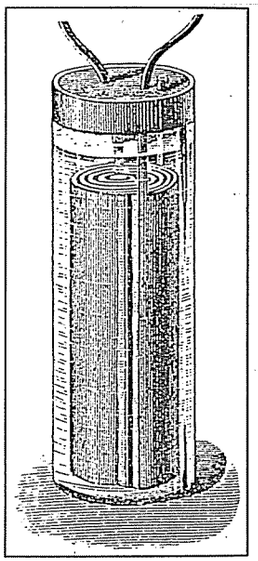
İkincil piller olarak da adlandırılan akümülatörlerde önce dışarıdan akım verilerek bir kimyasal değişim meydana getirilir. Bu işleme şarj veya doldurma adı verilir. Daha sonra bu kimyasal reaksiyonun tersine dönmesi sonucunda dışarıya

akım verilir. Bu olaya da deşarj veya boşalma adı verilir. Buradaki kimyasal reaksiyon tersinir olduğundan bir akümülatör birçok kez yeniden doldurulabilir.

Fransız Raymond Gaston Planté (1834 – 1889) (Şekil – 13.24) 1860'da iki kurşun levhayı sülfat asidi çözelitisine batırarak ilk akümülatörü gerçekleştirmekle birlikte bunu oldukça uzun bir süre sonra 1878'de açıkladı. Bundan iki yıl sonra akümülatör yaygın bir biçimde kullanıma girdi.

Planté'nin akümülatöründe doldurma sırasında (+) kurşun plakanın yüzeyi yükseltgenme sonucunda kurşun dioksit (PbO_2) ile kaplanır ve boşalma sırasında ise tersine bir kimyasal reaksiyon sonucunda indirgenerek yeniden kurşuna dönüşür. Bu olay elektrotların süngerleşmesine neden olur ve bu da kapasitenin düşmesi ile sonuçlanır. (Şekil – 13.25, 13.26 ve 13.27).

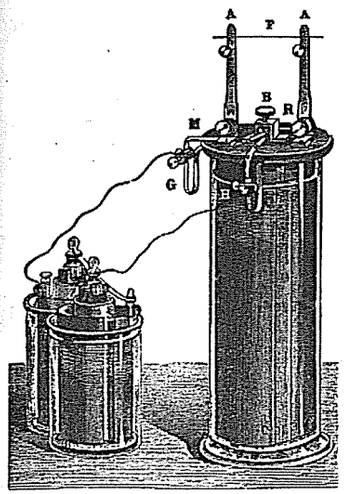
Şekil – 13.24: Raymond Gaston Planté. (1834 – 1889).



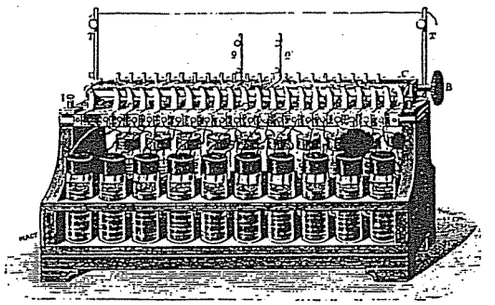
Şekil – 13.25: Planté'nin kurşun levhalardan oluşan ilk akümülatörü.

Bir başka Fransız Camille Faure, bir kurşun kafesin boşluklarını sülfat asidi ile hamur yapılmış kurşun oksit (PbO)

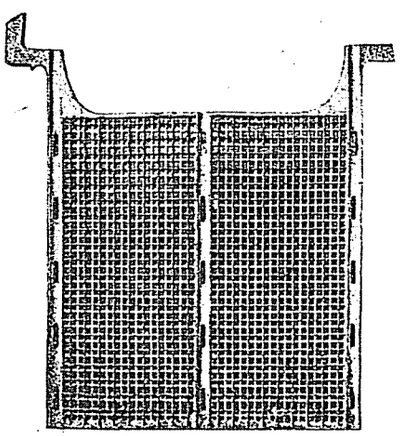
ile doldurarak hazırladığı plakalar ile süngerleşme olayını ortadan kaldırdı. (Şekil – 13.28 ve 13.29).



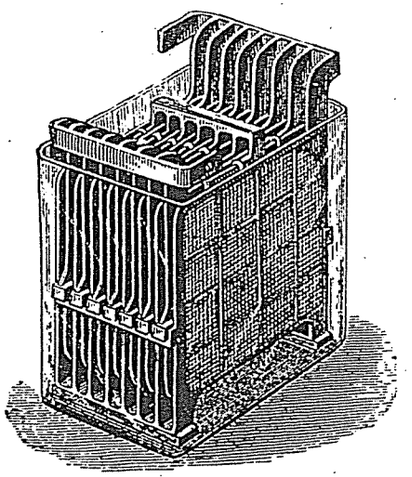
Şekil – 13.26: Planté'nin akümülatörünün iki pil yardımıyla doldurulması



Şekil – 13.27: Planté'nin akümülatörlerinden oluşan bir batarya.



Şekil – 13.28: Camille Faure'un kafes biçiminde kurşun elektrodu.



Şekil – 13.29: Kafes biçiminde kurşun elektrotlardan oluşmuş bir akümülatör.

Akümülatörün elektrotları gözleri kurşun oksit (PbO) ile doldurulmuş kafes biçimindeki kurşun levhalardır ve elektrolit olarak seyreltik sülfat asidi çözelitisine batırılmışlardır. Başlangıçta bütün levhalar özdeş olduğundan aralarında bir gerilim farkı yoktur.

Dışarıdan akım verildiğinde elektrolizin katodundaki ve [akümülatörün anodundaki] kurşun oksit metalik kurşuna indirgenir:

$$PbO + 2H^+ + 2e \rightarrow Pb + H_2O$$

Buna karşılık elektrolizin anodundaki [akümülatörün katodundaki] kurşun oksit,

$$PbO + H_2O \rightarrow PbO_2 + 2H^+ + 2e$$

reaksiyonu uyarınca kırmızı renkli kurşun diokside yükseltgenir. (Şekil – 13.30). Akümülatörün dolduğu elektrotlardan hidrojen ve oksijen gazlarının çıkmasıyla anlaşılır. Yeni doldurulmuş bir akümülatörün elektromotor kuvveti 2,5 Volt dolayındadır.

Akümülatör dışarı akım verirken dolma sırasındaki reaksiyonların tersi meydana gelir. (Şekil – 13.31).

$$PbO_2 + 2H^+ \rightarrow PbO + H_2O \text{ (Katot)}$$

$$Pb + H_2O \rightarrow PbO + 2H^+ \quad \text{(Anot)}$$

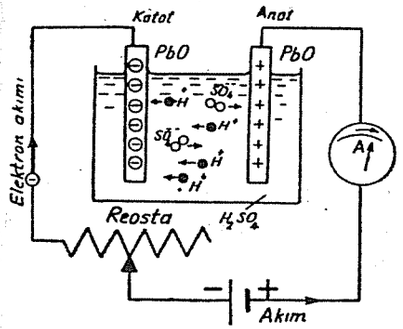
Buna göre akümülatördeki toplam reaksiyon,

$$2PbO \underset{\leftarrow \text{Deşarj}}{\overset{\text{Şarj} \rightarrow}{\rightleftharpoons}} PbO_2 + Pb$$

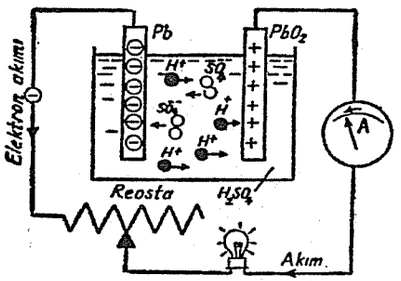
şeklinde gösterilebilir.

Akümülatörler 1880'lerde çok değişik amaçlar için yaygın olarak kullanılmaya başlandı. Tek kötü yanları çok ağır olmalarıydı. Akümülatörlerin en önemli sonuçlarından biri

deniz altındayken elektrik motorları ile hareket eden denizaltı gemilerinin yapımına olanak sağlamasıdır.



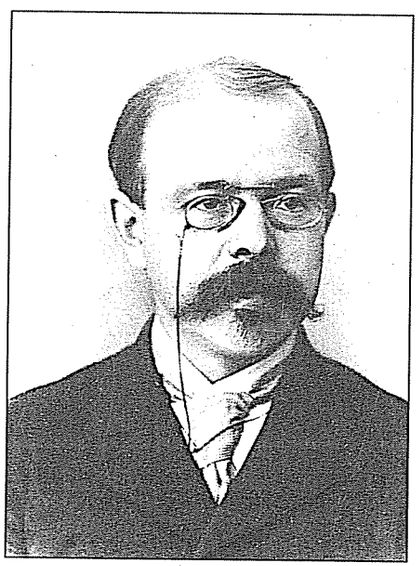
Şekil – 13.30: Akümülatörün doldurulması.



Şekil – 13.31: Akümülatörün akım vererek boşalması.

ELEKTROT GERİLİMLERİ

Alman fizikokimyacı Walther Nernst (1864 – 1941) (Şekil – 13.32) pillerin akım vermesinin açıklamasını yaparak elektrot gerilimlerini veren ve kendi adı ile anılan formülü ortaya koymuştur.

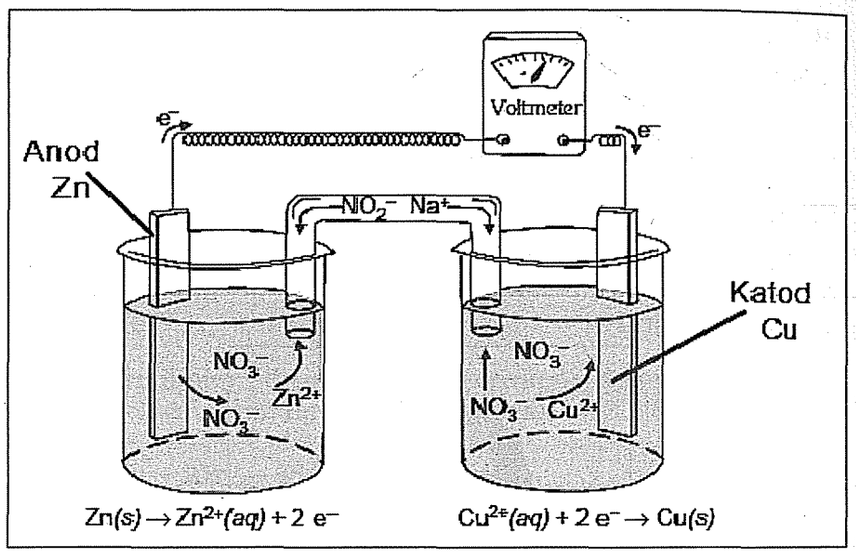


Şekil – 13.32: Walther Nernst. (1864 – 1941).

Kendi tuzunun çözeltisine batırılmış bir metal çubuk bir metal elektrot oluşturur ve bu elektrot üzerinde oluşan gerilim Nernst formülü ile hesaplanır:

$$E = E^0 + \frac{RT}{nF} \ln Q$$

İki elektrodun bir tuz köprüsü ile birbirine bağlanması ile bir pil oluşur ve pilin gerilimi iki elektrodun gerilimleri arasındaki farka eşittir. (Şekil – 13.33).

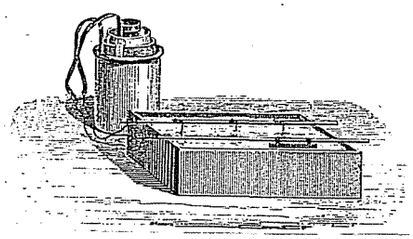


Şekil – 13.33: Bir çinko elektrot ile bir bakır elektrodun birleştirilmesi ile oluşan bir Volta pili.

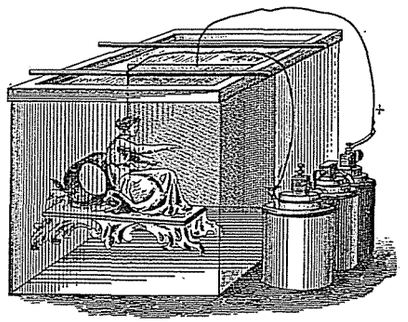
GALVANOPLASTİ (ELEKTROLİTİK KAPLAMA)

Galvanoplasti veya elektrolitik kaplama metalik bir cismin yüzeyinin elektroliz yoluyla başka bir metalin ince bir tabakasıyla kaplanması işlemidir. Kaplama işlemi iki amaçla yapılır. Birincisi dekoratif amaçlı olup çeşitli cisimlerin üzerinin altın veya gümüş gibi değerli metallerle kaplanmasıdır. İkincisi ise dış etkilere karşı koruma sağlamak üzere örneğin demirden yapılmış cisimlerin üzerinin nikel gibi havanın

etkisine dayanıklı metallerle kaplanmasıdır. (Şekil – 13.34 ve 13.35).

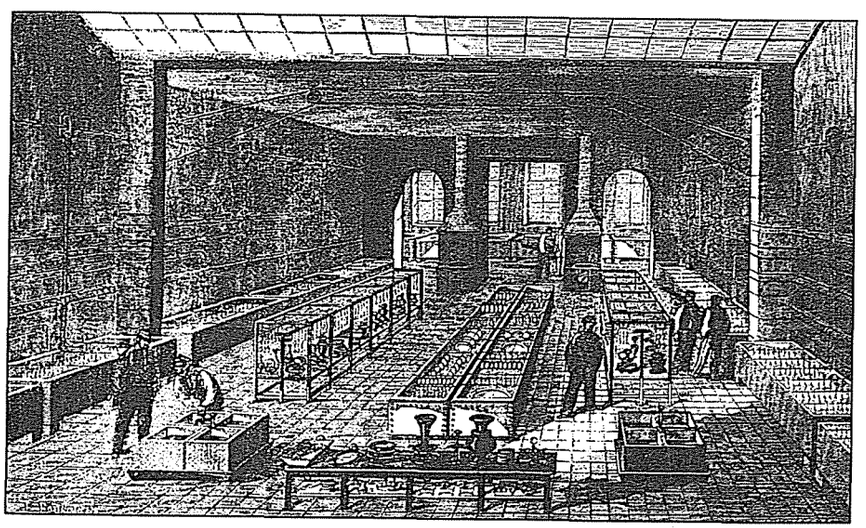


Şekil – 13.34: Bir galvanoplasti banyosunda bakır kaplanması. Gerekli akım bir Bunsen pilinden sağlanmaktadır.



Şekil – 13.35: Bir galvanoplasti banyosunda gümüş kaplanması. Gerekli akım seri bağlı üç Bunsen pilinden sağlanmaktadır.

İlk elektroliz işleminin 1800 yılında gerçekleştirilmesinin hemen ardından galvanoplasti konusundaki denemeler başlamış olmakla birlikte düzenli akım veren sınaî pillerin gelişiminden sonra galvanoplasti de hızla gelişip yaygınlaşmaya başlamıştır. (Şekil – 13.36).



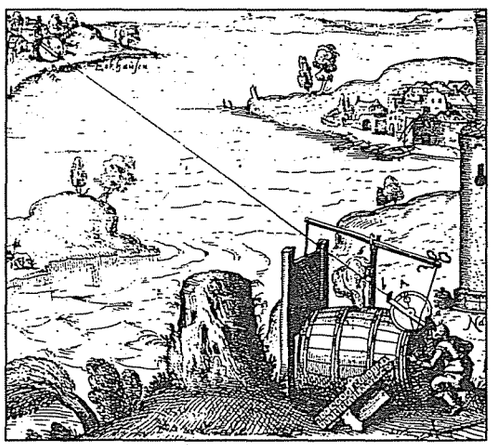
Şekil – 13.36: Bir galvanoplasti atölyesi. (1865). [Henseling, s. 93].

ELEKTRİKLİ TELGRAFIN GELİŞMESİ

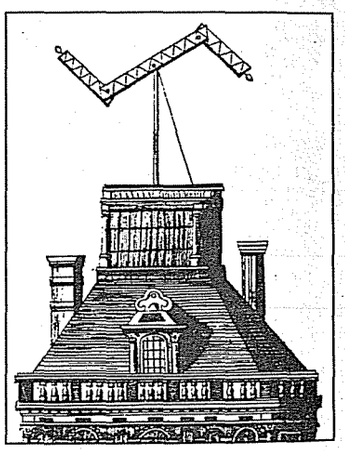
Mekanik telgraf sistemleri

Uzak mesafeler arasında hızlı bir haberleşme sağlanması insanlık için başlangıçtan beri önemli bir sorun olmuştur. En eski haberleşme yöntemi tepelerin üzerinde ateş veya ışık yakılmasıdır. (Şekil – 13.37). XVIII. yüzyıl sonlarına doğru İngiltere'de gemiler arasındaki haberleşmeyi sağlamak için bir bayrak sistemi geliştirilerek standartlaştırılmıştır.

Fransa'da ise Claude Chappe (1763 – 1805) tarafından 1790'da mekanik bir telgraf sistemi geliştirilmiştir. Semafor sistemine dayanan bu sistem, mekanik olarak hareket ettirilen kolların aldıkları biçimlere göre önceden belirlenmiş bir kodlama sistemi ile gönderilen masajın ara istasyonlar tarafından birbirine aktarılması üzerine temellenir. İlk haberleşme hattı Paris ile Lille arasında kurulmuş ve La Quesnoy'un geri alındığını bildiren ilk haber Ağustos 1794'de iletilmiştir. (Şekil – 13.38). Bu haberleşme yöntemi kısa sürede Fransa, İngiltere ve Amerika'da yaygınlaşmış olmakla birlikte bu sistemlerin sivil amaçlarla kullanılması son derece sınırlı kalmıştır.



Şekil – 13.37: Franz Kessler'in bir fıçı içindeki ışığın önünü açıp kapamaya dayanan optik telgrafı. (1615). [Oberliesen, s. 46].

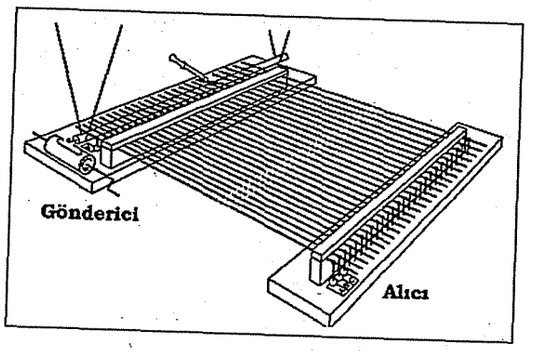


Şekil – 13.38: Chappe'nin 1795'de kurduğu mekanik telgraf sisteminin Paris'de Louvre Sarayı'ndaki istasyonu. [Kirby, s. 337].

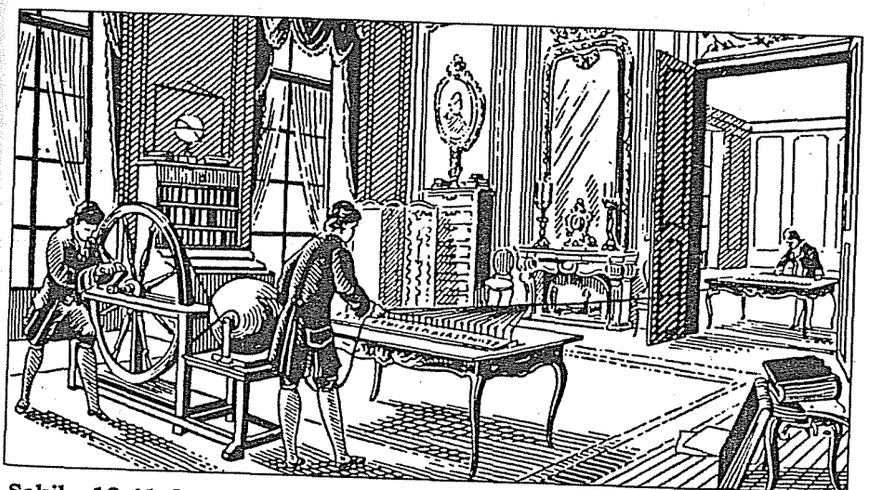
Statik elektrikli telgraf

Statik elektrik konusundaki gelişmeler üzerine Georges Louis Le Sage (1724 – 1803) (Şekil – 13.39). tarafından 1770'lerde bir elektrostatik telgarf yapıldı. Her biri bir harfe karşılık olan 26 tane tel alıcı ve veriçi istasyonlar arasına çekilmişti. Tellerden biri statik elektrik üreten bir makineye bağlandığında karşı istasyonda aynı telin ucuna bağlı olan mürver özünden bir top hareket ediyordu. Böylece mesaj harf harf iletiliyordu. (Şekil – 13.40 ve 13.41).

Şekil – 13.39: Georges Louis Le Sage. (1724 – 1803).



Şekil – 13.40: Le Sage'ın telgrafının çalışma sistemi. [Oberliesen, s. 85].

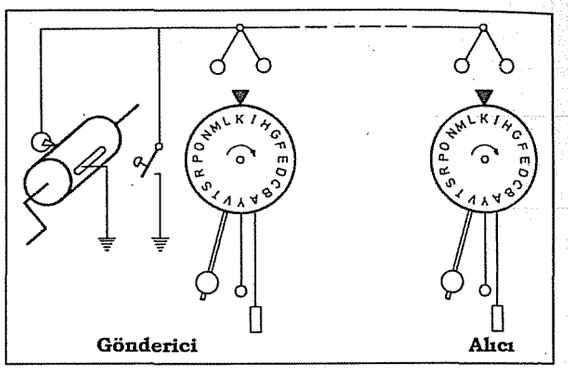


Şekil – 13.41: Le Sage tarafından yapılmış olan elektrostatik telgraf. (1774). [Oberliesen, s. 87].

Birkaç yıl sonra Paris'de M. Lomond bir kod sistemi kullanarak tel sayısını teke indirdi. Le Sage'ın telgrafı daha önce adı bilinmeyen bir kişi tarafından 1753'de *Scots Magazine* adlı dergide yayınlanan bir yazı ile önerilmişti.

!795'de İspanya'da Francisco Salvá y Campillo (1751 – 1828) (Şekil – 13.42) çok telli bir sistem geliştirdi ve daha sonra tel sayısını teke indirerek Madrid ile kraliyet yazlığı olan Aranjuez arasında deneysel bir hat döşedi. Başka bir elektrostatik telgraf 1816'da Londra'da Francis Ronalds (1788 – 1873) tarafından yapılıdı ve gösteri için 8 millik bir hat döşendi, fakat ilgililer tarafından gereken ilgiyi görmedi. (Şekil – 13.43). Bütün bu telgraf düzeneklerinde bir elektrik makinesi ile elde edilen statik elektrik kullanılıyordu.

Şekil – 13.42: Francisco Salvá y Campillo. (1751 – 1828).



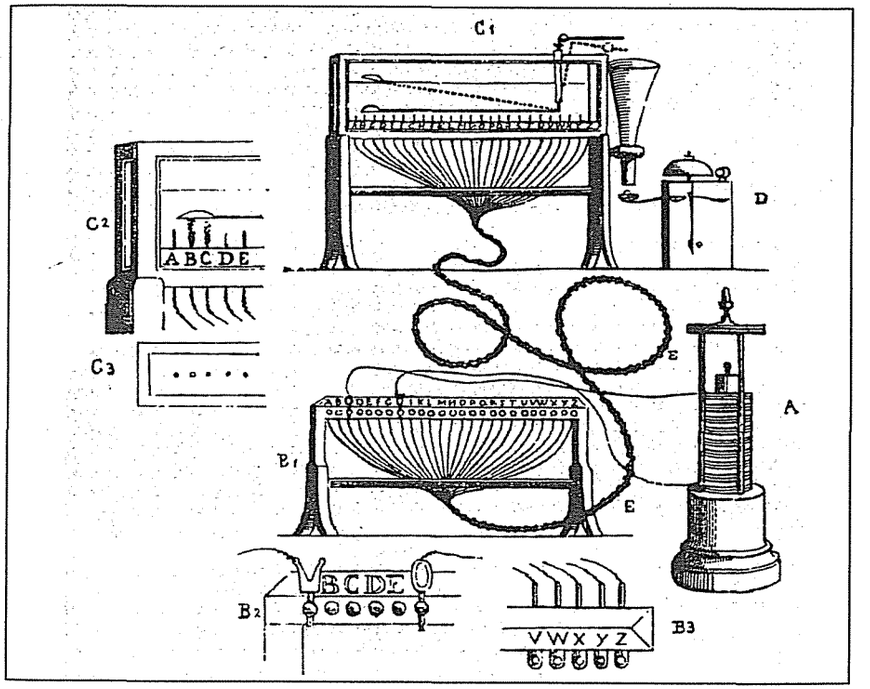
Şekil – 13.43: Francis Ronalds'ın gerçekleştirdiği elektrostatik telgrafın çalışma ilkesi. (1816). [Oberliesen, s. 88].

Elektrikli telgraf

Volta pilinin bulunmasıyla elektrostatik telgraftan gerçek anlamda elektrikli telgrafa geçildi. Alman mucit Samuel Thomas von Soemmerring (1755 – 1830) (Şekil – 13.44) 1810'da Salvá'nın sistemi üzerine temellenen elektrikli bir telgraf yaptı ve bunu Münih'deki Rus elçilik heyetinde bulunan Baron Paul (Pavel) Schilling von Canstatt'a (1786 – 1837) gösterdi. (Şekil – 13.45). Elektrik bataryasının kuvvetli sinyaller göndermesine karşılık alıcılar çok ilkeldi. (Şekil – 13.46). Daha önce Salvá operatörün aldığı elektik şoklarını kullanmıştı.

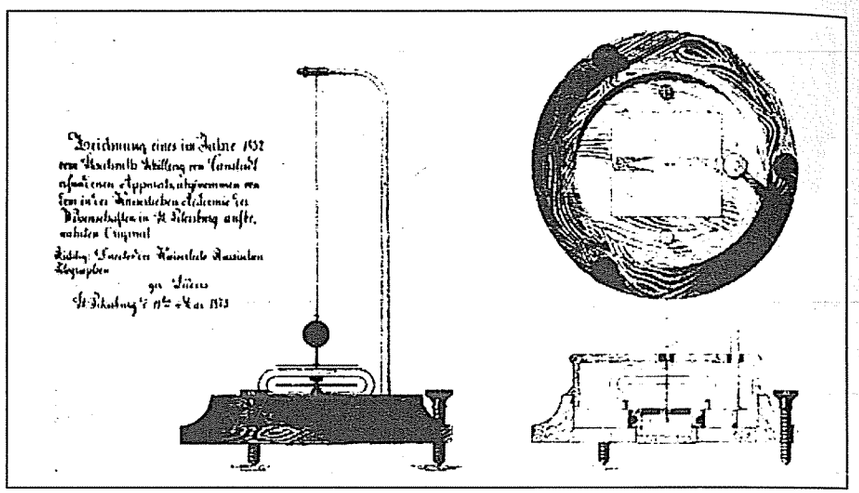
Şekil – 13.44: Samuel Thomas von Soemmerring. (1755 – 1830).

Şekil – 13.45: Paul Schilling von Canstatt. (1786 – 1837).

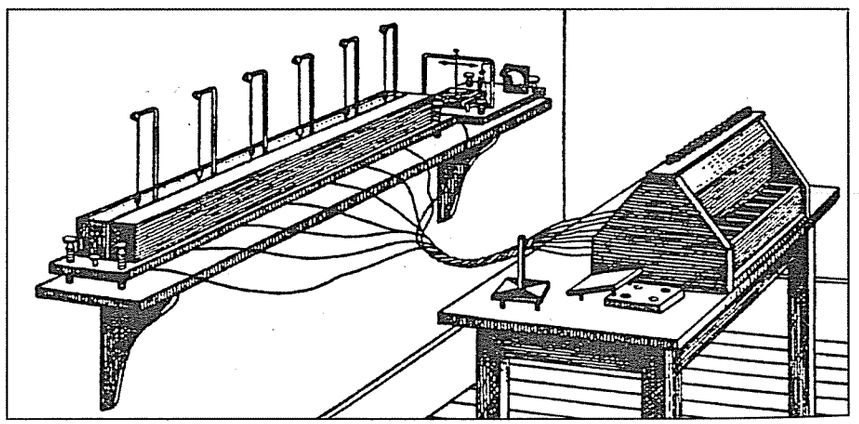


Şekil – 13.46: Soemmerring'in elektrikli telgrafı. [Oberliesen, s. 90].

Bir iletkenden geçen elektrik akımının bir magnetik alan oluşturmasının bulunması telgraf için çok önemli bir buluştu ve alıcı sorunu elektromagnetizma yoluyla aşıldı. Bu buluş hemen Soemmerring ile Schilling'in ilgisini çekti ve Schilling 1822'den sonra çeşitli elektromagntik detektörler denedi. Daha sonra Samuel Morse tarafından gerçekleştirilecek olana benzer tek iğneli bir alıcı için bir kod sistemi geliştirdi. (Şekil – 13.47 ve 13.48).



Şekil – 13.47: Von Canstatt tarafından 1832'de geliştirilen elektromagnetik telgraf. [Oberliesen, s. 91].



Şekil – 13.48: Von Canstatt tarafından yapılmış olan elektrikli telgraf. (1835). [Derry ve Williams, s. 625].

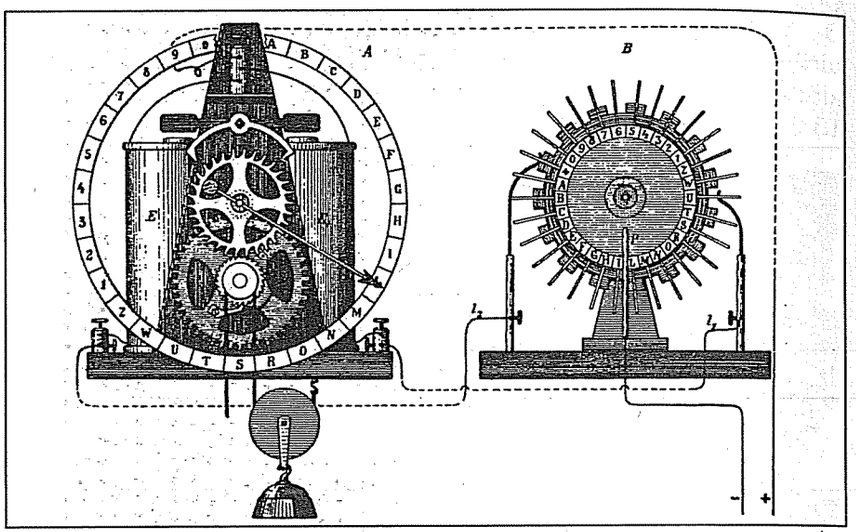
1836'da Almanya'da Heidelberg'de Schilling'in aletlerinden birini gören İngiliz William Fothergill Cooke (1806 – 1879) (Şekil – 13.49) İngiltere'ye dönüşünde elektromagnetik telgraf üzerinde çalışmaya başladı. Karşılaştığı teknik güçlükleri yenmek için Londra'daki King's College'de profesör olan Charles Wheatstone'a (1802 – 1875) (Şekil – 13.50) başvurdu. O da benzer bir sitem geliştirmişti ve bundan sonra ikisi birlikte çalışarak 1837'de geliştirdikleri bir telgraf için patent aldılar ve bu telgrafı aynı yıl halka gösterdiler. (Şekil – 13.51, 13.52, 13.53 ve 13.54).

Şekil – 13.49: William Fothergill Cooke. (1806 – 1879).

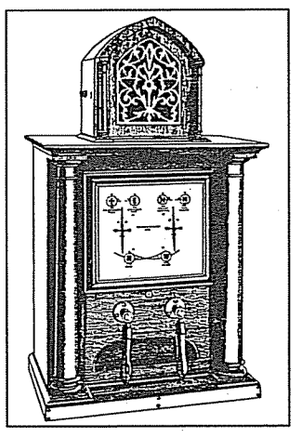
Şekil – 13.50: Charles Wheatstone. (1802 – 1875).

Telgraflarını uygulamak için demiryolu şirketlerine başvurdular. Londra – Birmingham şirketi konuyla fazla ilgilenmemekle birlikte Great Western Railway şirketinin yöneticileri konuya ilgi duydular. Paddington – West Drayton hattı 1838'de açıldı. Hat dört yıl sonra 1842'de Slough'a kadar uzatıldı. 1845'de meydan gelen bir olay kamuoyunun ilgisini büyük oranda telgraf üzerine çekti ve telgrafın öneminin anlaşılmasını sağladı. Slough istasyonundan Londra'ya giden trende görülen bir katil sanığı çekilen telgraf üzerine Paddington istsyonunda yakalanarak daha sonra asıldı.

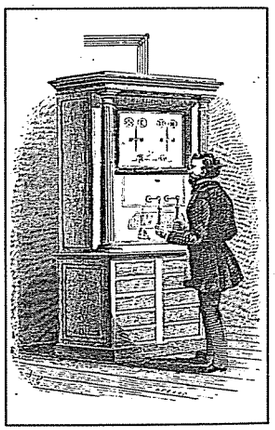
Başlangıçta kullandıkları alıcılar iki iğneliydi. Daha sonra 1860'da Wheatstone tarafından gönderilen harfleri doğrudan yazıya çeviren alıcılar geliştirildi. (Şekil – 13.55 ve 13.56). Benzer bir telgraf alıcısı 1845'de Amerika'da "House's printing telegraph" adıyla geliştirilmişti,



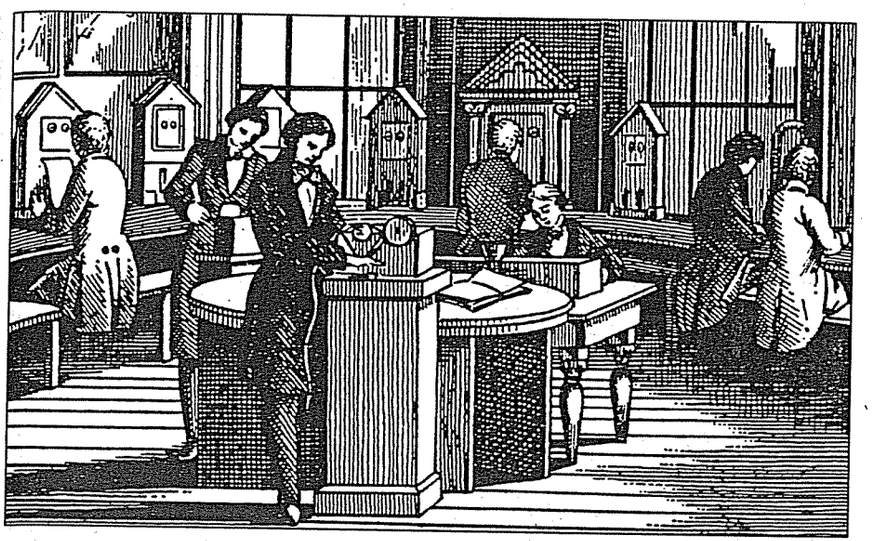
Şekil – 13.51: Cooke ile Wheatstone tarafından 1837'de geliştirilmiş olan kadranlı elektromagnetik telgraf. [Oberliesen, s. 104].



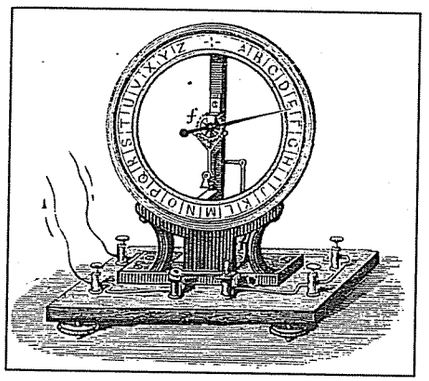
Şekil – 13.52: Cooke ve Wheatstone'un iki iğneli telgrafı. (1842). [Derry ve Williams, s. 626].



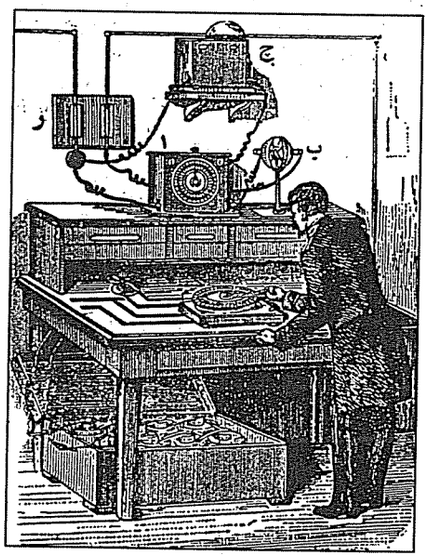
Şekil – 13.53: İki iğneli telgraf aletinin genel görünümü. [Figuier, s. 30]



Şekil – 13.54: Londra'da bir telgrafhane. (1850). [Derry ve Williams, s. 628].



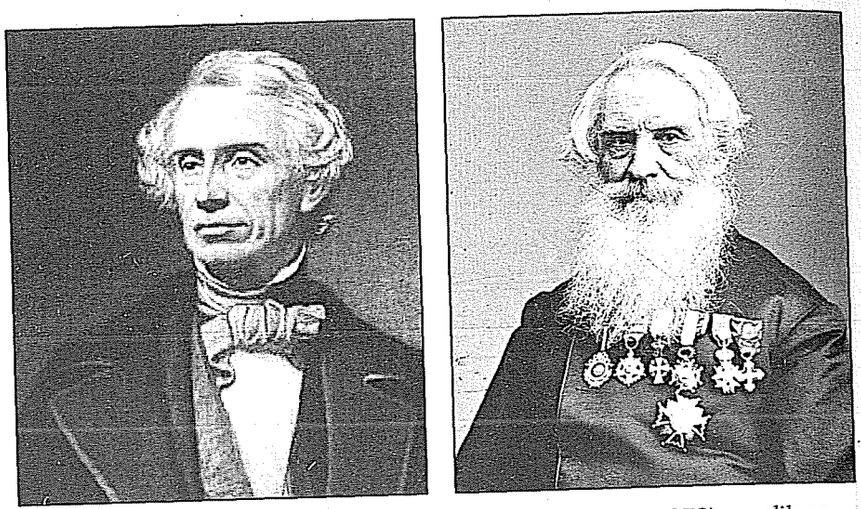
Şekil – 13.55: Özellikle demiryollarında kullanılan mesajın harf harf iletildiği kadranlı elektrikli telgraf. (1861). [Figuier, s. 304].



Şekil – 13.56: Kadranlı telgraf makinesi. [Alsan, s. 14]. Bu makine harflerin tek tek basılması temeline dayanır. Çevresinde harflerin sıralandığı biri alıcı ve biri de verici olmak üzere iki tane kadranı vardır. Vericinin kadranının kolu yazılmak istenilen harfin üzerine getirilince karşı tarafdaki alıcının kadranındaki kol da aynı harfin üzerine gelir. Yavaş çalıştığından ve mesajı kaydetmediğinden yaygınlaşamayarak terk edilmiştir.

Samuel Morse (1791 – 1872)

Yaşamını ressam olarak kazanan Amerika'lı Samuel Finlay Breese Morse (1791 – 1872)[2] (Şekil – 13.57) 1832'de Avrupa gezisinden dönerken gemide Joseph Henry'nin elektromıknatısı geliştirdiğini ve bu yolla uzağa sinyal iletme konusunda çalıştığını öğrendi.

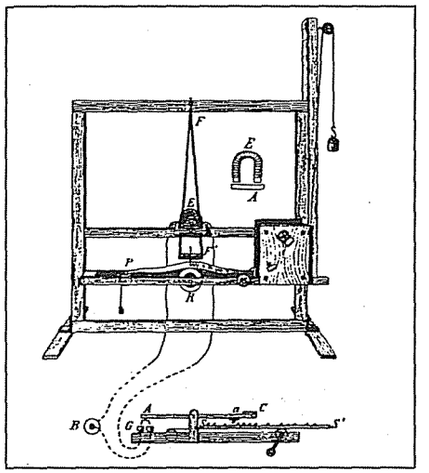


Şekil – 13.57: Samuel Finlay Breese Morse'un (1791 – 1872) gençlik ve yaşlılık fotoğrafları.

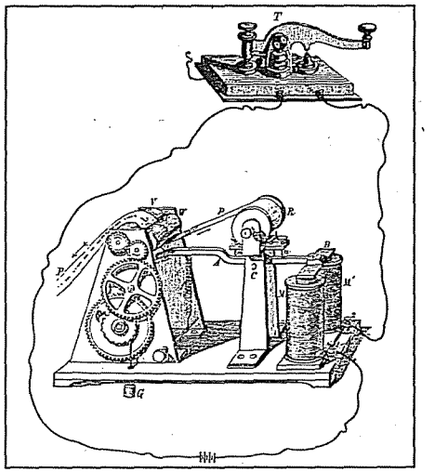
Joseph Henry'nin 1831'de yaptığı deneyde 1,5 km boyunda bir telin bir ucuna bağladığı pilin verdiği akım ile

2 *Samuel Finlay Breese Morse (1791 – 1872):* Bir rahibin oğlu olan Samuel Morse 14 yaşındayken Yale College'e girdi, burada resim ve elektrik konuları ile ilgilendi. Henüz fotoğrafın bulunmadığı bu dönemde portre ressamlığının önemli bir yeri vardı ve 1810'da mezun olduktan sonra bir ressamın yanında çalışmaya başladı. Bir yıl sonra başka bir ressamın yanına geçerek onun Londra'daki bürosuna gitti. Geriye dönüşünde portre ressamı olarak çalıştı. 1832'de Avrupa gezisinden dönerken gemide Joseph Henry'nin elektromıknatıs yardımıyla uzağa sinyal iletme konusunda çalıştığını öğrendi. Bilime olan tutkusu onu bu alanda çalışmaya itti ve elektromagnetik telgraf alıcı ve vericileri üzerinde çalışmaya başladı. Ortaya koyduğu telgraf sistemi ve alfabesi kısa sürede bütün dünyaya yayıldı ve kendisine Türkiye dahil çeşitli ülkeler tarafından madalyalar verildi. [Day ve McNeil, s. 502 – 503; Feldman ve Ford, s. 128 – 129].

öbür uçtaki bir elektromıknatısa bağlı zil çalıyordu. Buradan yola çıkan Samuel Morse demirci ustası Alfred Veil ile birlikte ve onun babasının parasal desteğini alarak bütün gücüyle telgraf üzerinde çalışmaya başladı. 1837'de sinyal göndermeyi başardı ve telgrafını 6 Ekim 1837'de halka tanıttı. Morse'un ilk kez halka gösterilen araçları oldukça kabaydı ve daha sonra Alfred Vail'in yardımıyla yeniden tasarımlandılar. (Şekil – 13.58 ve 13.59).

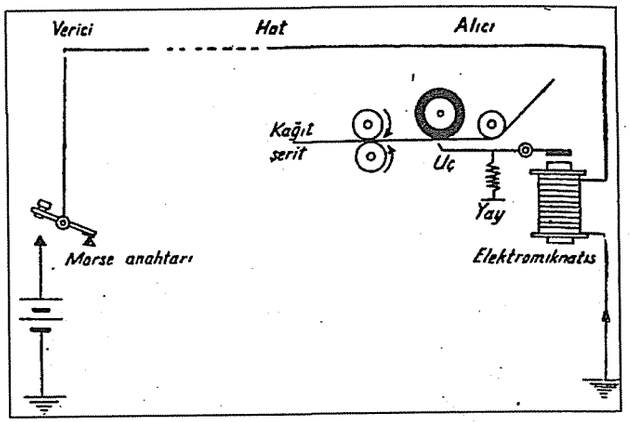


Şekil – 13.58: Samuel Morse tarafından 1835 – 1837 arasında geliştirilen ilk telgraf. [Oberliesen, s. 105].

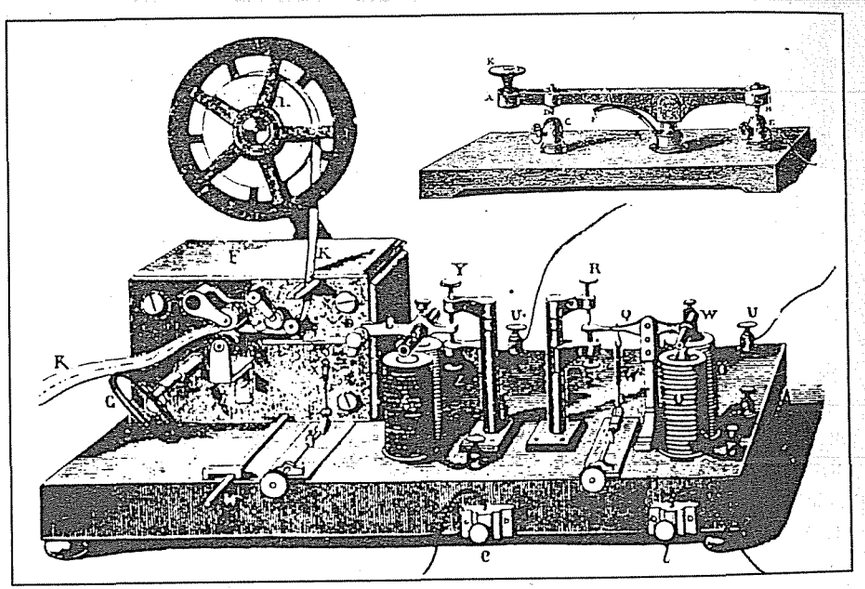


Şekil – 13.59: Erken dönem Morse telgraf makinesi alıcısı ve anahtarı. [Grunmach ve Rosenboom, s. 553].

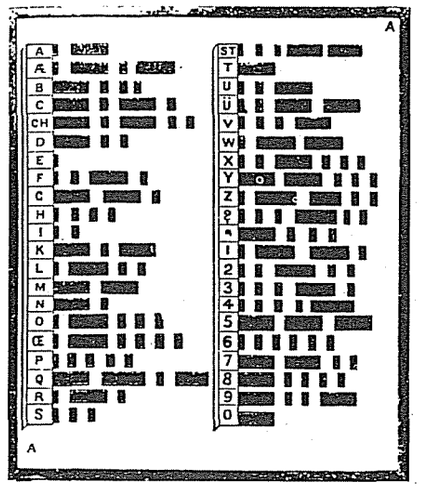
Bir süre sonra anahtar aynı kalmak üzere alıcı standart bir biçime geldi. (Şekil – 13.60 ve 13.61). İletişimde kullanılan alfabenin ilk örneklerini 1835'de geliştirdi ve birkaç yıl sonra sayılar ve harfler yerine nokta ve çizgilerin kullanıldığı ve daha sonra kendi adıyla anılacak olan *Morse alfabesi*'ni 6 Ocak 1838'de ortaya koydu. (Şekil – 13.62). Amerikan Kongresi'nin 30.000 $ desteğini sağlayan Morse, Washington – Baltimore arasına yaklaşık 60 km uzunulğunda bir hat döşedi ve ilk haberleşme 24 Mayıs 1844'de yapıldı. Amerikan Hükûmeti patentini 100.000 $ karşılığında satmasını istediyse de kabul etmedi ve 1845'de kendi telgraf şirketini kurarak kısa sürede bu alanda Amerika'da tekel haline geldi. (Şekil – 13.63 ve 13.64).



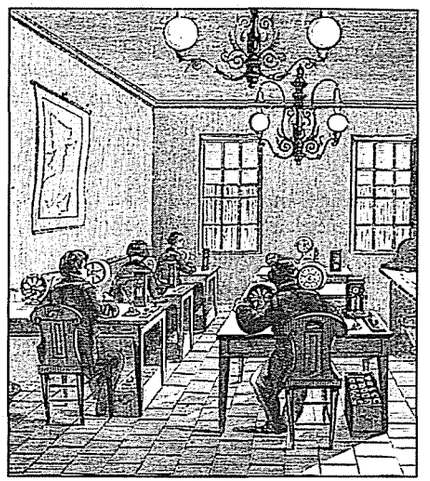
Şekil – 13.60: Morse telgraf devresi. Verici posta bir üreteç ile Morse anahtarı adı verilen devre kesiciden oluşur. Alıcı posta (Morse alıcısı) bir elektromıknatıs olup bunun tarafından çekilen bir armatür ile armatürün ucundaki kalemle üzerine çizgiler çizilen kâğıt şeridi çekerek saran bir sistemden oluşur.



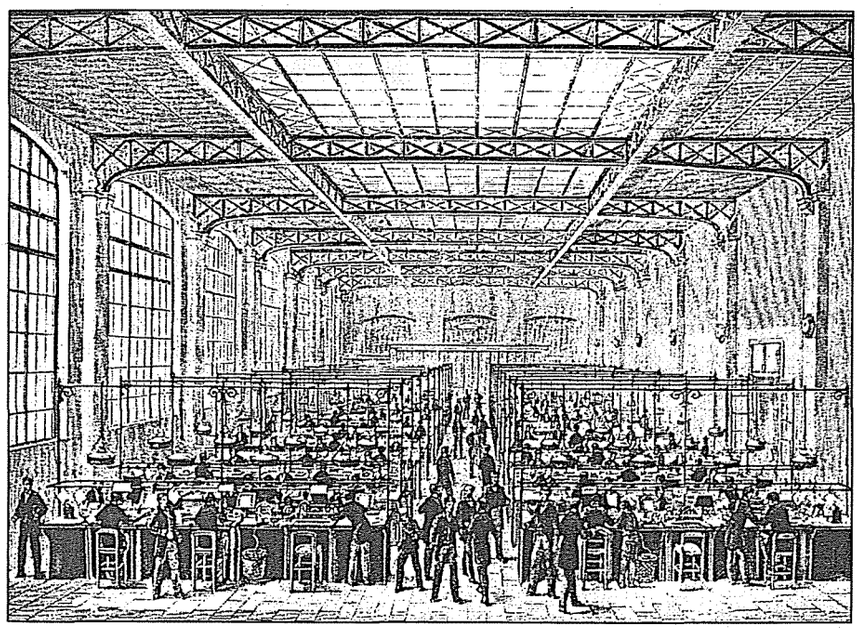
Şekil – 13.61: Samuel Morse tarafından geliştirilmiş olan elektromagnetik telgraf. Haber yollama sırasında anahtara basıldığında (A) elektromıknatısından akım geçer ve bu sırada (C) çubuğunun (B) ucunu kendine çeker. Bu sırada havaya kalkan (E) ucuna bağlı sivri uç kendisi ile karşısındaki makara arasından geçen kâğıt şerit üzerinde kabartma olarak işaretleri belirtir. [Feldman ve Ford, s. 128].



Şekil – 13.62: Samuel Morse tarafından geliştirilen ve kendi adıyla anılan telgraf alfabesi. [Feldman ve Ford, s. 129].



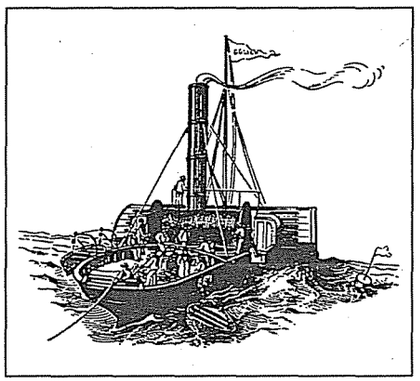
Şekil – 13.63: Morse telgraf makineleri ile donatılmış bir telgrafhane. (1861). [Figuier, s. 301].



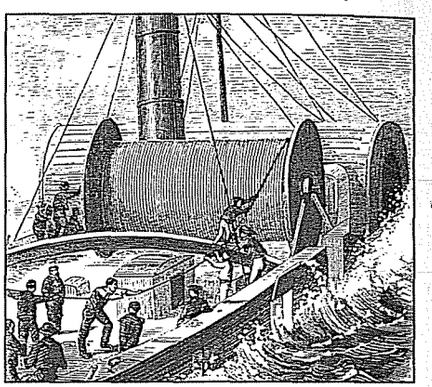
Şekil – 13.64: Paris'deki Avrupa'nın en büyük telgrafhanesi. (1883). [Oberliesen, s. 121].

Denizaşırı ve kıtalaraşırı telgraf hatları

William Cooke ve Charles Wheatstone 1846'da "The Electric Telegraph Company" adı altında bir şirket kurdular ve 4.000 mil telgraf hattı döşediler. Wheatstone 1846'da bir denizaltı kablosu ile Londra'yı Dover üzerinden Avrupa'ya bağlayarak telgraf iletişimi kurma düşüncesini ortaya attı. Bu düşünce 1847 ve 1850'deki iki başarısız girişimin ardından 1851'de gerçekleştirilebildi. Denizaltı kablolarının döşenebilmesi ancak gerekli yalıtkan maddelerin bulunması ve bunların çeşitli sorunlarının çözülebilmesinden sonra gerçekleşebilmiştir. (Şekil – 13.65, 13.66, 13.67 ve 13.68).



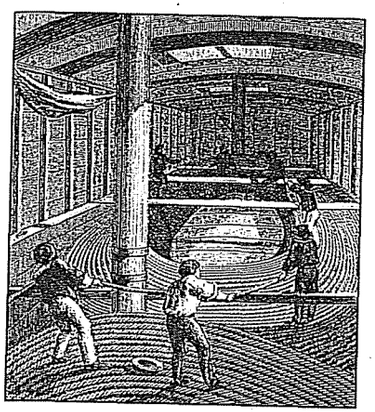
Şekil – 13.65: Manş Denizi'ne telgaf kablosu döşenmesine ilişkin ilk girişim. (Ağustos 1850). [Derry ve Williams, s. 627].



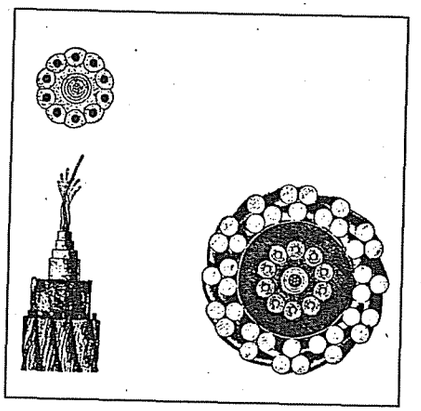
Şekil – 13.66: Manş Denizi'nde Dover ile Calais arasında telgarf kablosu döşenmesi. (13 Kasım 1851). [Figuier, s. 306].

Manş kablosundan altı yıl sonra İngiltere'yi Atlantik Okyanusu altından geçen bir kablo ile Amerika'ya bağlama düşüncesi gündeme geldi. Pratik ve teknik güçlüklerin yenilmesinin ardından kablo döşendi ise de 1857'de koptu ve 300 millik bölümü kaybedildi. Daha sonra Ağustos 1858'de bağlantı yeniden sağlandı fakat birkaç hafta sonra kablo gene koptu. İki kıta arasındaki sürekli telgraf bağlantısı ancak 1866'da sağlanabildi. 1862 yılına gelindiğinde dünyadaki telgraf hatlarının toplam uzunluğu 150.000 mile ulaşmıştı. Bunun 15.000 mili İngiltere'de olmak üzere 80.000 mili Avrupa kıtasında ve 48.000 mili de Amerika kıtasındaydı. 1872 yılında dünyanın başlıca kentleri telgraf hatları ile

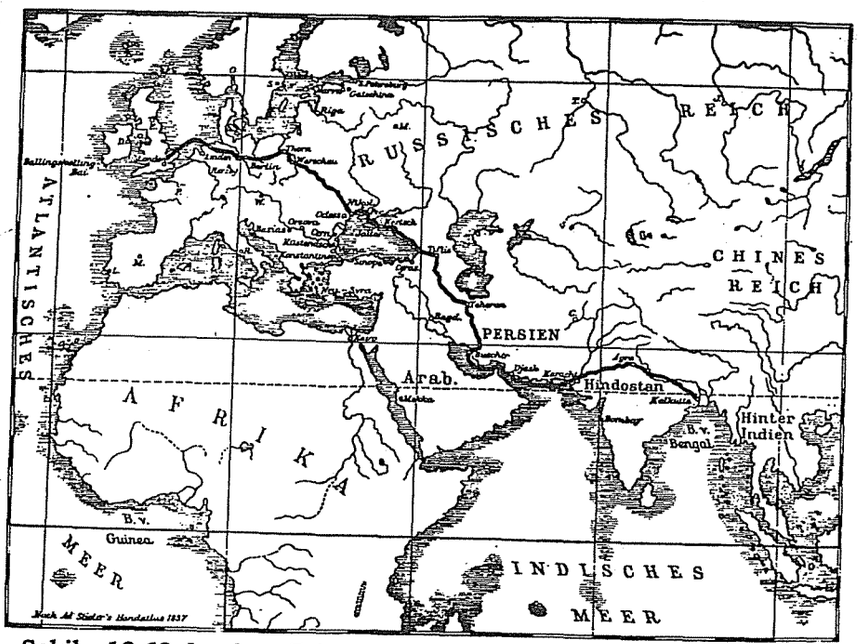
birbirine bağlanmış ve Londra ile Avustralya arasında iletişim sağlanmıştı. (Şekil – 13.69 ve 13.70).



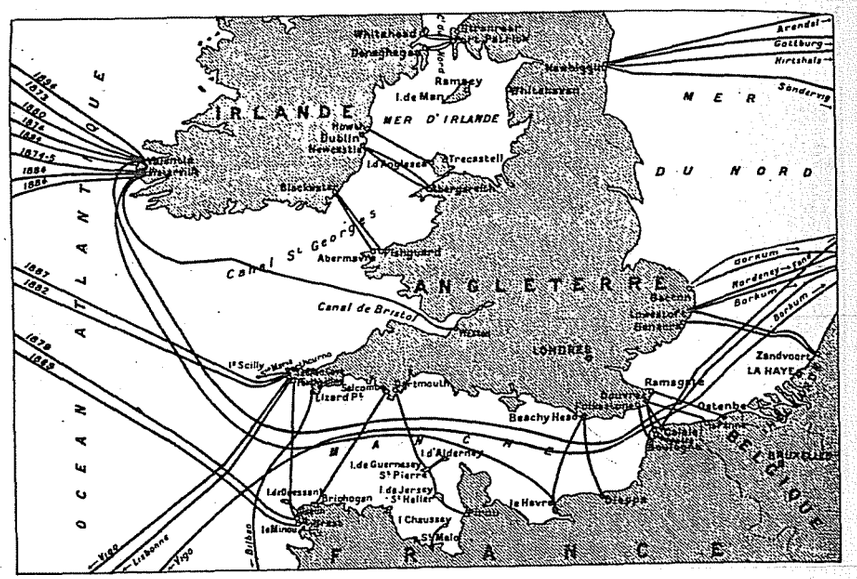
Şekil – 13.67: Denizaltına döşenecek olan telgraf kablosunun gemide istiflenmesi. [Figuier, s. 305].



Şekil – 13.68: Solda 30 mm ve sağda 65 mm kesitli dernizaltı telgraf kabloları. (1865). [Oberliesen, s. 118].



Şekil – 13.69: Londra – Tahran – Kalküta arasında Hind – Avrupa telgraf hattı. (1870). [Oberliesen, s. 120].



Şekil – 13.70: İngiltere ile kıta Avrupa'sı ve Amerika arasındaki telgraf hatları. (1880). [Oberliesen, s. 120].

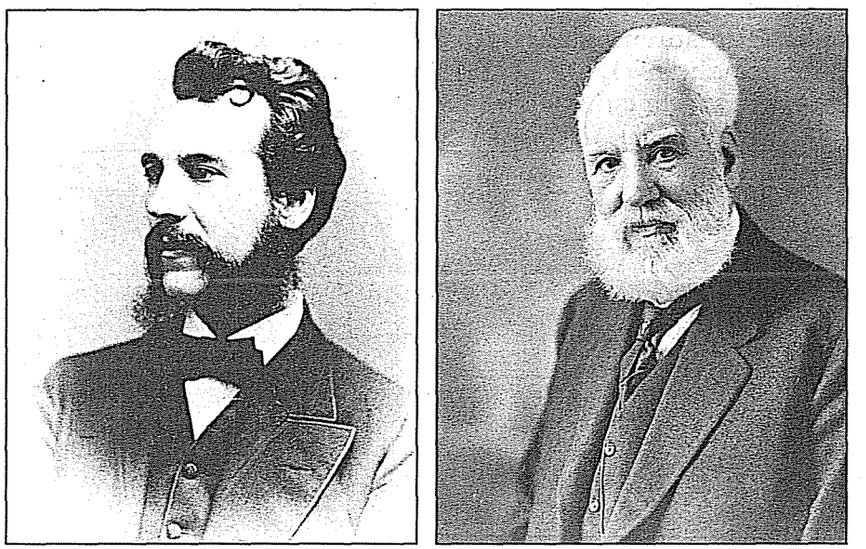
Telgrafın Türkiye'ye girişi

Türkiye'deki ilk telgraf gösterisi Amerikalı Lawrence Smith tarafından 26 Şaban 1263 [9 Ağustos 1847]'de Beylerbeyi Sarayı'nda Padişah Abdülmecid'in huzurunda yapıldı. Bu buluşu nedeniyle Abdülmecid tarafından Samuel Morse'a Ocak 1848'de bir nişan verildi.

Osmanlı İmparatorluğu'ndaki ilk telgraf hattı İstanbul – Edirne – Şumnu arasında kuruldu. 29 Ağustos 1855'de açılan bu hattan geçilen ilk mesaj "Asakir-i Müttefika [müttefik askerleri] Sıvastopol'a girmişlerdir" olmuştur. Bu hat daha sonra Rusçuk – Bükreş – Viyana yoluyla Avrupa'ya bağlanmıştır. Önceleri yalnız Fransızca olarak çekilebilen telgraflar Mustafa Efendi'nin Morse alfabesini Arap harflerine uygulaması üzerine Türkçe olarak çekilmeye başlanmıştır.

Telefon

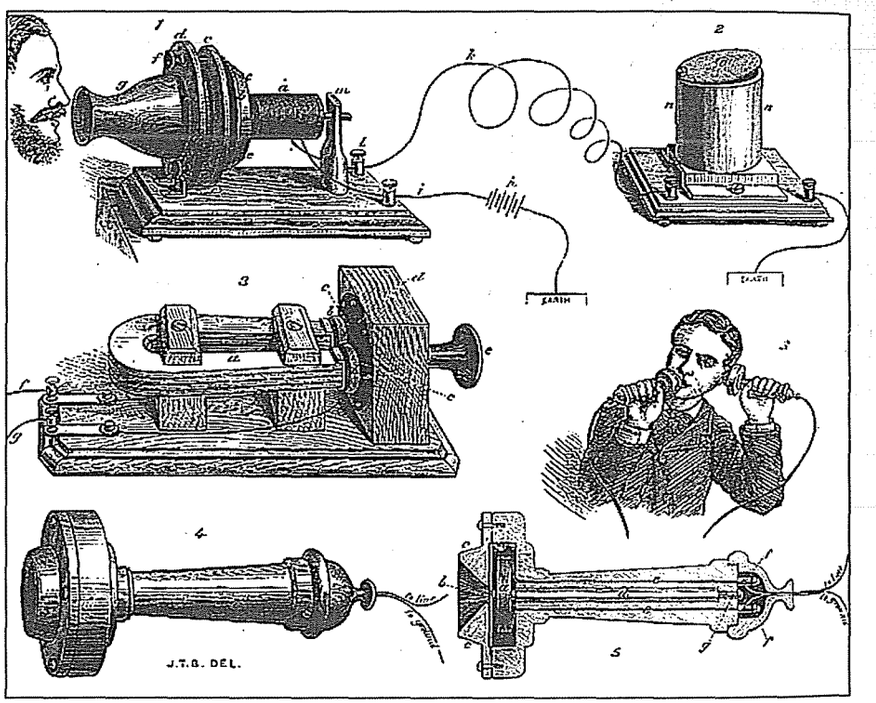
Telgrafta elektromanyetik yoldan sinyallerin iletilmesinin başarılmasının ardından seslerin de doğrudan iletilmesi konusu gündeme geldi. Elektrikli telefon konusundaki ilk çalışmalar 1861'de Almanya'da yapılmıştı. Ancak ticari bakımdan başarılı bir telefon örneği İngiltere'den Amerika'ya göç etmiş bulunan Alexander Graham Bell (1847 – 1922)[3] (Şekil – 13.71) tarafından 1876'da gerçekleştirildi. Bell 1875'de bir elektrik mühendisi olan Thomas Watson ile birlikte sesin iletimi konusunda çalışmalara başladı.



Şekil – 13.71: Alexander Graham Bell'in (1847 – 1922) gençlik ve yaşlılık fotoğrafları.

3 *Alexander Graham Bell (1847 – 1922):* Edinbourgh'da doğdu ve burada eğitim gördü. Ailesinde ünlü hatipler olduğu gibi babası da sağırlara konuşma öğretecek bir yöntem ortaya koymuştu. 1868'de Londra Üniversitesi'nden anatomi ve fizyoloji öğrenimi görerek mezun oldu. İki kardeşinin veremden ölümü üzerine ailesi Kanada'ya göçtü. Boston'a giderek burada sağırlar okulu öğretmenlerini eğiten bir okul açtı ve 1873'de Boston Üniversitesi'ne profesör oldu. Bu sırada 1875'de bir elektrik mühendisi olan Thomas Watson ile birlikte sesin iletimi konusunda çalışmalara başladı ve 1876'da ilk telefonu gerçekleştirdi. [Day ve McNeil, s. 52 – 53; Feldman ve Ford, s. 208 – 209].

Kendisinden bağımsız olarak Elisha Gray de bu konuda çalışıyordu. Sonunda 7 Mart 1876'da yardımcısı Watson'a telefon ile "Mr. Watson, come here, I want you" [Bay Watson buraya gel, seni istiyorum] dedi. Bunun ardından patent alarak "Bell Telephone Company"yi kurarak faaliyete geçti. (Şekil – 13.72 ve 13.73). Bell'in bu buluşu Alman fizikçi Hermann Helmholtz'un (1821 – 1894) sesin yeniden üretilmesi konusundaki çalışmalarına dayanıyordu. Bell bir elektro-magnetik mikrofon içeren buluşunu ertesi yıl İngiltere'de gösterdi. İngiltere'deki ilk telefon şirketi 1878'de kuruldu ve iki nokta arasındaki karşılıklı konuşma 1879'da gerçekleşti. Bu sırada Bell'in deri diyaframına karşılık metalik duyafram kullanan ve daha iyi bir sistem ortaya koyan Gray de patent aldı. Uzun süren patent davaları sonucunda Yüksek mahkeme patent hakkını Bell'e verdiyse de bu sırada telefon bütün dünyaya yayılmıştı. (Şekil – 13.74 ve 13.75).



Şekil – 13.72: Bell'in ilk sabit mikrofon ve kulaklıkları (üstte) ve hareketli telefonu (altta).

SCIENTIFIC AMERICAN

A WEEKLY JOURNAL OF PRACTICAL INFORMATION, ART, SCIENCE, MECHANICS, CHEMISTRY, AND MANUFACTURES.

NEW YORK, OCTOBER 6, 1877.

THE NEW BELL TELEPHONE.

Fig. 1.

BELL'S NEW TELEPHONE

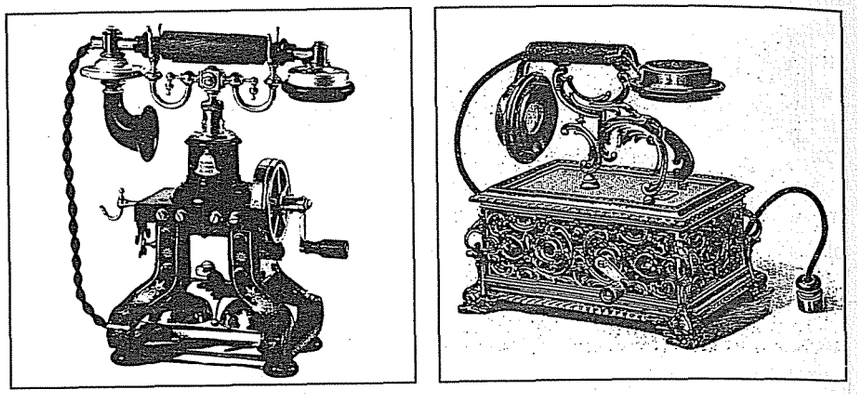
NEWARK

NEW YORK

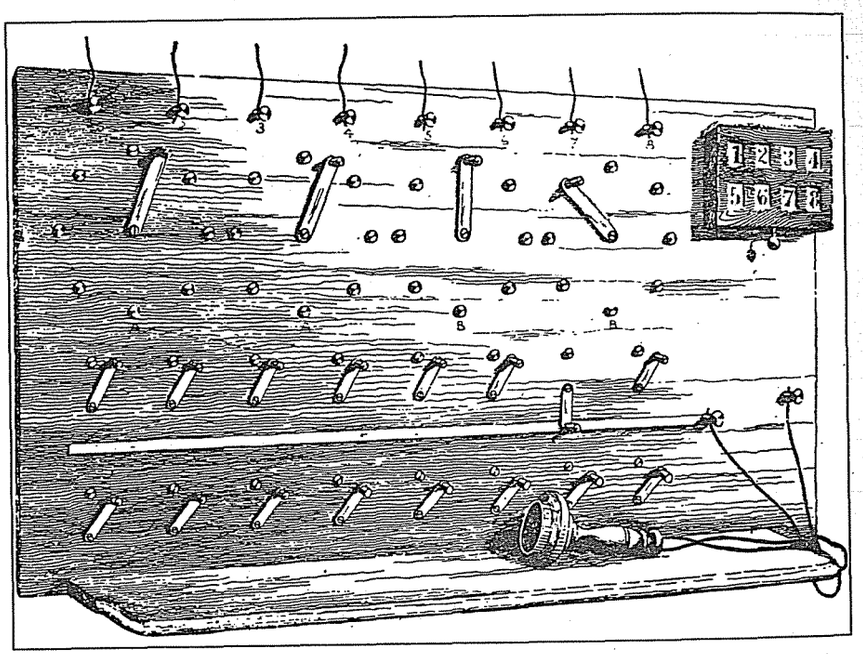
PATERSON

YONKERS

Şekil – 13.73: *Scientific American* adlı derginin 6 Ekim 1877 tarihli sayısında "The new Bell telephone" [Bell'in yeni telefonu] başlıklı haber. [Oberliesen, s. 136].



Şekil – 13.74: Manyetolu telefonlar. Telefon kullanılmadan önce kol çevrilerek bir indüksiyon bobini yardımıyla aletin çalışması için gerekli elektrik elde edilir. Konuşma uzarsa konuşma sırasında da kol çevrilerek akımın devamı sağlanır.



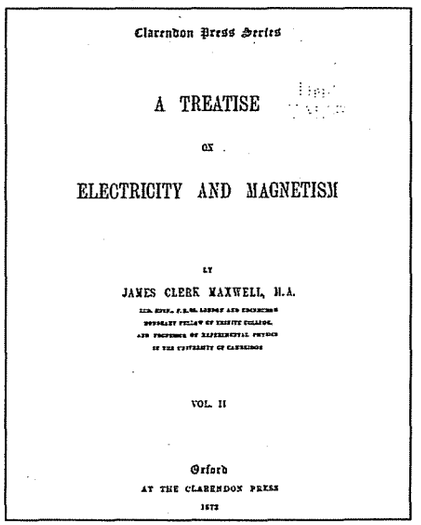
Şekil – 3.75: 1879'da Amerika'da Connecticut'daki New Haven'da kurulan ilk telefon şebekesinin santrali. [Kirby, s. 345].

TELSİZ TELGRAF VE TELEFON

James Clerk Maxwell ve elektromagnetik teori

İngiliz fizikçi ve matematikçi James Clerk Maxwell (1831 – 1879) (Şekil – 13.76) elektrik, magnetizma ve ışık konularında yüz yılı aşkın bir süre içinde elde edilmiş tüm bulgu, bilgi ve teorileri birleştirip bunların matematiksel sentezini yaparak elektromagnetik teoriyi kurdu. Maxwell ulaştığı sentezi 1873'de *Treatise on Electricity and Magnetism* adıyla yayınladı. (Şekil – 13.77). Kitabın "Electromagnetic theory of light" [Işığın elektromagnetik teorisi] başlığını taşıyan 20. bölümünde ışığın elektromagnetik teorisini ortaya koydu. Maxwell'e göre elektromagnetik dalgalar boşlukta ışık hızı ile yayılan titreşimler olup birbirine dik konumda elektrik ve magnetik alanları içerirler. Buna göre, negatif yüklü bir cismin titreşimi sonucunda bir elektromagnetik dalga oluşmalıdır. Işık da bir elektromagnetik dalgadır. Maxwell'in ileri sürdüğü bu görüşler klasık fiziğe bağlı çağdaşları tarafından kuşkuyla karşılanmıştı.

Şekil – 13.76: James Clerk Maxwell. (1831 – 1879).

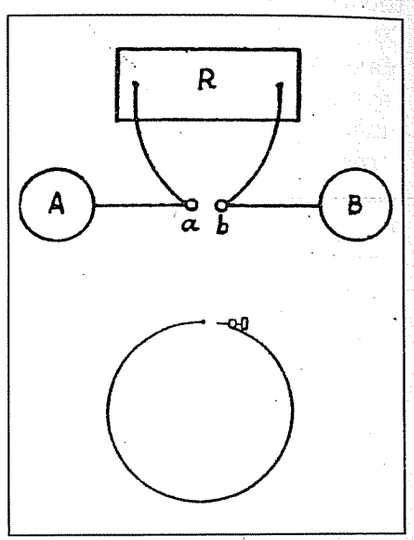


Şekil – 13.77: Maxwell'in *Treatise on Electricity and Magnetism* adlı kitabının kapağı.

Heinrich Hertz ve elektromagnetik dalgalar

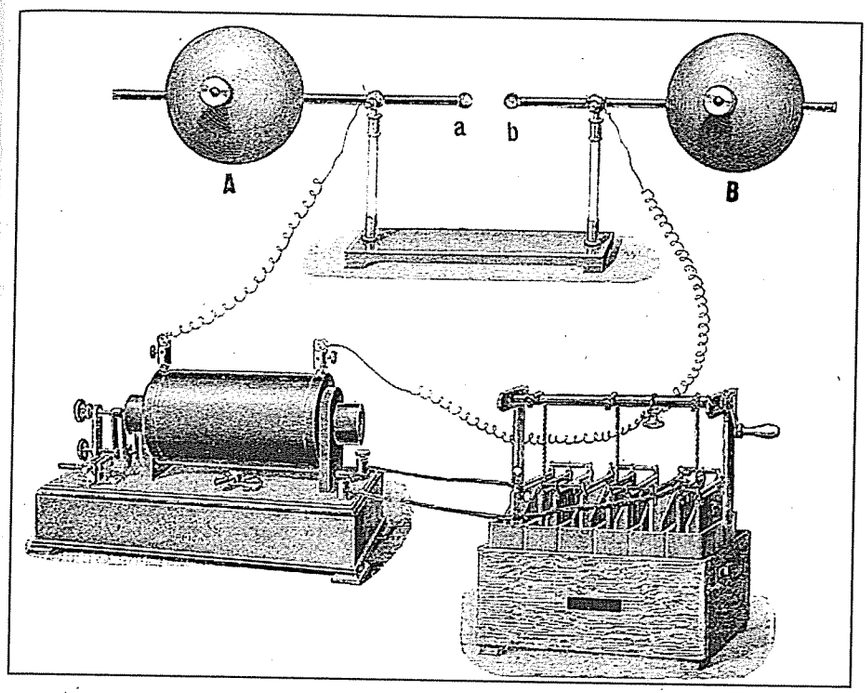
Maxwell'in kitabının yayınlanmasından yaklaşık on yıl sonra 1885'de Alman fizikçi Heinrich Hertz (1857 – 1894) (Şekil – 13.78) bir elektriksel titreşim sonucunda elektromagnetik dalgaları oluşturmayı başararak Maxwell'in öngörüsünü deneysel olarak kanıtladı. Hertz'in kullandığı cihaz, bir yandan kendi aralarında, öte yandan da ***R*** indüksiyon bobinine (Rhumkorff bobini) iletkenlerle bağlanmış ***A***, ***B***, ***a*** ve ***b*** metal kürelerinden oluşmuş bir *osilatör*'dür. (Şekil – 13.79 ve 13.80).

Şekil – 13.78: Heinrich Hertz. (1857 – 1894). [Grunmach ve Rosenboom, s. 594].



Şekil – 13.79: Hertz'in osilatör ve rezonatörü. [Saraç, s. 140].

Burada ***R*** bobini çalıştırıldığında ***A*** ve ***B*** küreleri karşıt elektrikle yüklenirler ve bunların gerilimi belirli bir düzeye ulaşınca ***a*** ve ***b*** küreleri arasında elektriksel bir deşarj meydana gelir. Böylece ***a*** ve ***b*** küreleri bir *eklatör* oluşturur. Sistemden karşıt yönde ve şiddeti azalan bir akım geçer. Bu akım sonucuna hızla sönen ardışık elektromagnetik dalgalar oluşur. Bu dalgaların varlığı basit bir rezonatör ile algılanır ve rezonatörün uçları arasında kıvılcımlar oluşur.



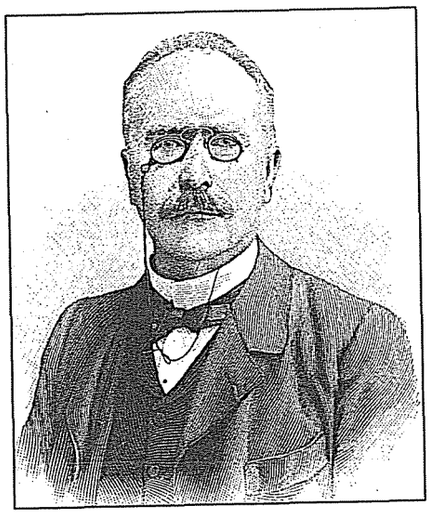
Şekil – 13.80: Hertz'in osilatörü. [Grunmach ve Rosenboom, s. 595].

Hertz bu dalgaların dalgaboylarını saptamış (yaklaşık 24 cm), ışık hızıyla yayıldıklarını ve ışık dalgaları gibi yansıma, kırılma ve girişim olaylarını oluşturduklarını ortaya koymuştur. Hertz'in oluşturduğu dalgaların dalgaboyları birkaç metre düzeyindedir ve bunları ancak 10 m içindeki bir uzaklıktan algılayabilmiştir. Hertz bu buluşunu uyglama alanına koyma konusunda bir girişimde bulunmamakla birlikte, varlığı Maxwell tarafından teorik olarak ortaya konulmuş olan elektromagnetik dalgaları deneysel olarak kanıtlamıştır.

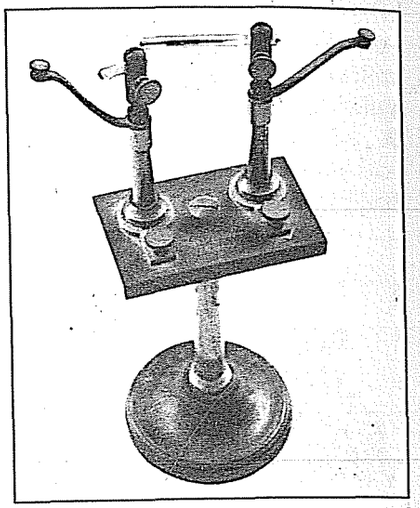
Edouard Branly ve radyokondüktör

Fransız fizikçi Edouard Branly (1844 – 1940) (Şekil – 13.81, 13.82 ve 13.83) 1889 – 1890 yılları arasında yaptığı çalışmalar sonucunda elektromagnetik dalgaları algılamak için

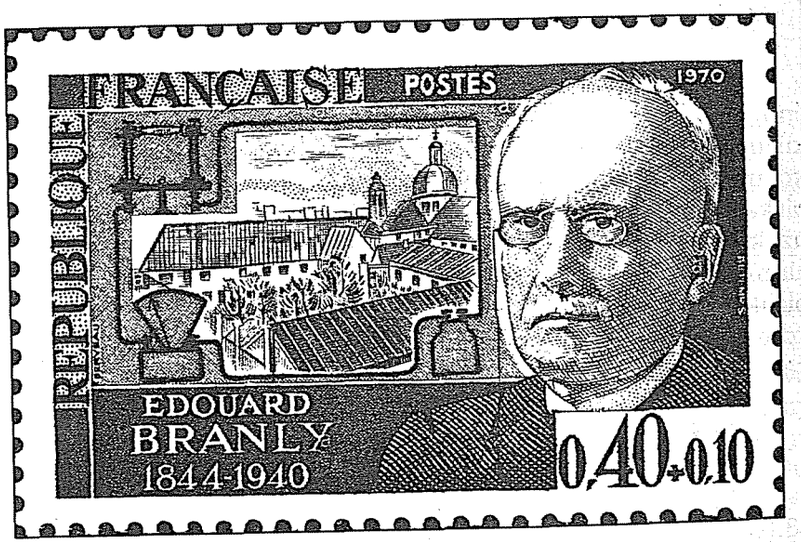
yeni bir detektör geliştirdi. Çalışmalarının temelini yakınlarında elektriksel bir deşarj oluşturulan çeşitli metal tozlarının iletkenliklerindeki değişmelerin incelenmesi oluşturur.



Şekil – 13.81: Edouard Branly. (1844 – 1940).

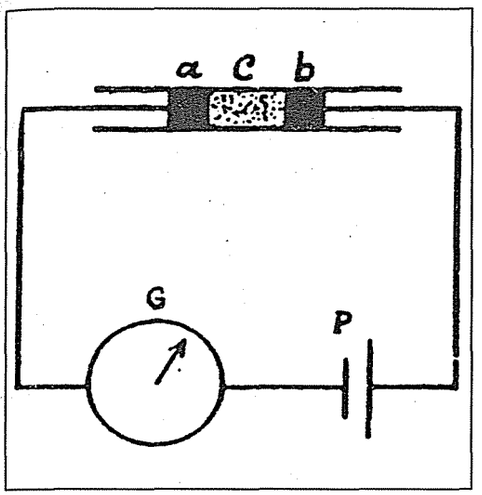


Şekil – 13.82: Branly'nin orijinal detektörü (radyokondüktör).

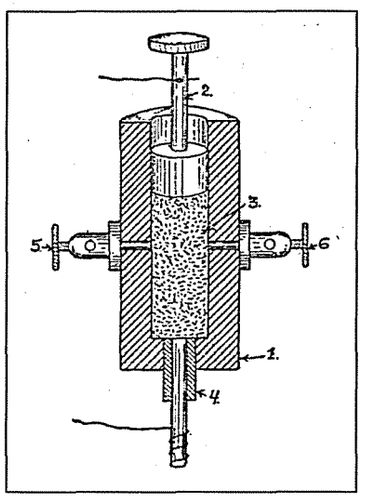


Şekil – 13.83: Branly'nin ölümünün otuzuncu yılında çıkartılmış bir Fransız posta pulu.

İçi ***a*** ve ***b*** pistonları ile sıkıştırılan metal tozu ile dolu olan ***C*** tüpünün bir elektrik devresine bağlanması ile oluşturulan sistemin yakınında bir elektrik deşarjı oluşturulursa devrede bir akım ortaya çıkar ve ***G*** galvanometresi sapar. (Şekil – 13.84 ve 13.85).



Şekil – 13.84: Branly'nin radyokondüktörünün (eklatör) çalışma şeması. [Saraç, s. 141].

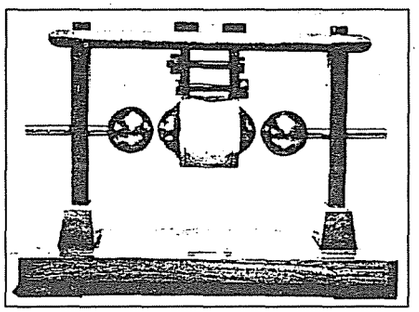


Şekil – 13.85: Branly'nin radyokondüktörünün (eklatör) kesiti.

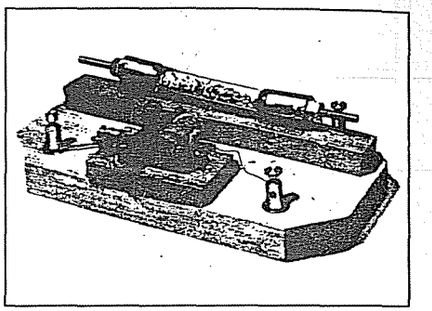
Metal tozlarına hafifçe vurulursa metal tozlarında ortaya çıkan iletkenlik ve buna bağlı olarak devredeki akım ortadan kalkar. Yeni bir elektrik deşarjı sonucunda iletkenlik yeniden oluşur. Branly, bu etkinin 25 m uzaklıktan ortaya çıkabilmesi nedeniyle geliştirdiği aletine *radioconducteur* adını verdi. Devrenin tahta veya cam bir kutuya konulması durumunda bir değişiklik olmadığını, metal bir kutuya konulduğunda ise etkinin ortadan kalktığını saptadı. Metal kutuya açılan bir delikten devreye bağlı bir telin çıkartılması durumunda etkinin yeniden ve şiddetlenerek ortaya çıktığın da gözeldi. Eklatörün kollarından birine iletken bir çubuk (anten) takıldığında algılamanın çok daha belirgin olduğunu ortaya koymakla birlikte buradan telsiz telgrafa ulaşamamıştır.

Guglielmo Marconi ve telsiz telgraf

Guglielmo Marconi'nin (1874 – 1937) de öğrencisi olduğu Bologna Üniversitesi'nde Profesör Augusto Righi (1850 – 1921) 1894'de bir osilatör yaparak derslerinde Hertz deneyini gösterdi. (Şekil – 13.86). Aynı yıl İngiltere'de Oliver Lodge (1851 – 1940) *coherer* olarak adlandırdığı Branly'nin detektörünü kullanarak denemeler yaptı. (Şekil – 13.87). Deşarjın süresini değiştirerek Morse alfabesindeki nokta ve çizgilerin bir mesaj göndermek için kullanılabileceğini ileri sürmekle birlikte bunu denemedi. Lodge 1894 yazında Oxford'da "Signalling through space without wire" [Uzayda telsiz sinyalleşme] adı altırad bir konferans vererek buluş ve görüşlerini açıkladı. Bu konferansın özeti *Nature* ve *Engineering* gibi dünya çapında dağıtılan dergilerde yayınlandı ve büyük yankı yarattı.



Şekil – 13.86: Augusto Righi'nin osilatörlerinden biri. (1894). [Süsskind, s. 68].



Şekil – 13.87: Oxford'da kullanılmış bir Branly/Lodge coherer'i. (1894). [Süsskind, s. 68].

Aynı yaz bu konferansı duyan henüz yirmi yaşındaki Marconi bu yolla mesaj iletimi konusunda çalışmaya başladı ve 1895 yazında ilk telsiz telgrafı gerçekleştirdi. 1896 Şubatında İngiltere'ye giden Marconi buluşunun patentini 2 Haziran 1896'a aldı. (Şekil – 13.88, 13.89, 13.90, 13.91 ve 13.92). İngiltere ile Fransa arasındaki ilk telsiz haberleşmesi aralarında 50 km uzaklık bulunan Dover ve Wimereux istasyonları arasında Mart 1899'da yapıldı. Aynı yılın yazında yapılan deniz manevralarında haberleşme uzaklığı 135 km düzeyine yükseldi. Marconi Dover'den Fransa'ya ilk telgrafını Branly'ye gönderdi: "Bay Marconi, telsiz telgrafla, bu güzel

sonucu kısmen değerli çalışmalarına borçlu olduğu Bay Branly'ye saygılarını sunar."

Şekil – 13.88: Marconi İngiltere'ye varışından kısa bir süre sonra "Telegraphy without wire" [Telsiz telgraf] adını verdiği cihazı ile. [Süsskind. S. 67].

N° 12.039 A.D. 1896

Date of Application, 2nd June, 1896

Complete Specification Left, 2nd Mar., 1897—Accepted, 2nd July, 1897

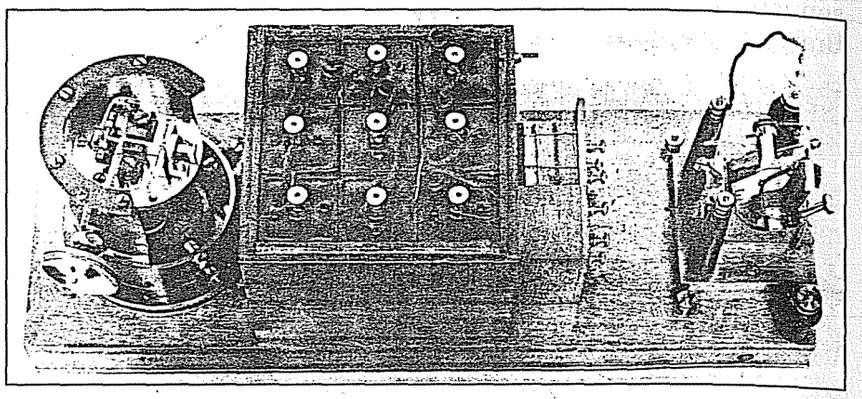
PROVISIONAL SPECIFICATION.

Improvements in Transmitting Electrical Impulses and Signals, and in Apparatus therefor.

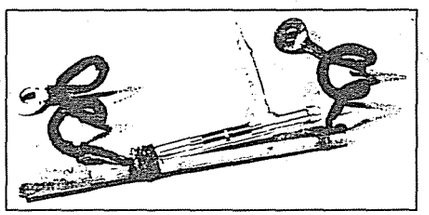
I, GUGLIELMO MARCONI, of 71 Hereford Road, Bayswater, in the County of Middlesex, do hereby declare the nature of this invention to be as follows:—

According to this invention electrical actions or manifestations are transmitted through the air, earth or water by means of electric oscillations of high frequency. At the transmitting station I employ a Ruhmkorff coil having in its primary circuit a Morse key, or other appliance for starting or interrupting the current, and its pole appliances (such as insulated balls separated by small air spaces or high

Şekil – 13.89: Marconi'nin telsiz telgraf için almış olduğu 2 Haziran 1896 tarih ve 12.039 sayılı İngiliz patenti. [Süsskind, s. 68].



Şekil – 13.90: Markoni'nin alıcısı (koherer).(1899). [Süsskind, s. 69].



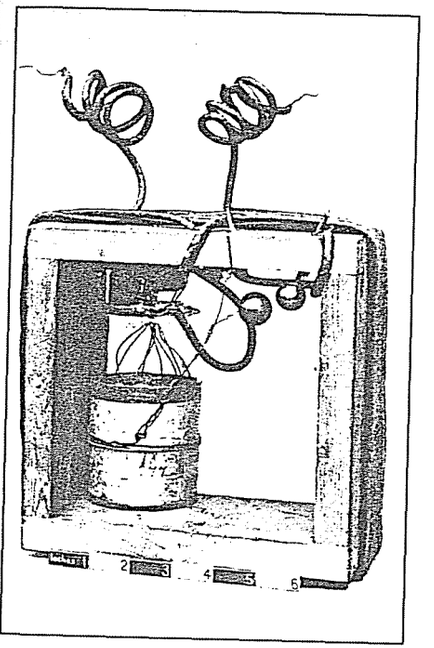
Şekil – 13.91: Marconi'nin kullandığı coherer'lerden biri. (1898). [Süsskind, s. 69].

Marconi, İngiltere'deki Cornwall ile Amerika'daki Newfoundland arasındaki Atlantik aşırı 3500 km lik ilk telsiz telgraf görüşmesini 12 Aralık 1901'de gerçekleştirdi. **(Şekil – 13.93)**. Marconi başlangıçta dalgaboyu 300 – 3000 m olan dalgalar kullanıyordu fakat kısa bir süre sonra uzak mesafeler arasındaki haberleşmeler için Hertz'in oluşturduğu gibi kısa dalgalar kullanmaya başladı. Marconi telsiz telgraf konusundaki buluşları nedeniyle 1909 yılı Nobel Fizik Ödülü'nü Ferdinand Braun ile birlikte kazandı.

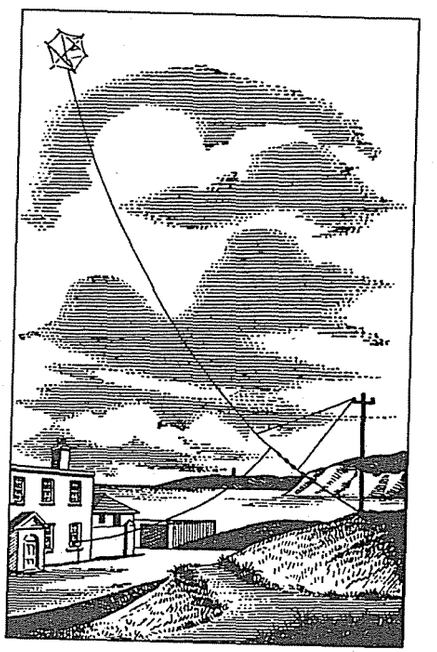
Marconi'nin telsiz telgraf alanındaki katkısı başlangıçtan beri tartışma konusu olmuştur. Marconi'nin buluşunu değerlendiren William Preece, 1897'de Royal Institution'da yaptığı bir konuşmada şunları söylemiştir;

> "O yeni ışınlar keşfetmedi, onun vericisi oldukça eskidir, onun alıcısı Branly'nin coherer'i üzerine temellenir, Kolomb yumurtayı icat etmedi, fakat yumurtanın dik olarak durdurulmasının nasıl yapılacağını gösterdi. Marconi bilinen şeylerden, bilinen aletlerin hepsinden daha duyarlı olan yeni bir elektriksel göz ve şimdiye kadar erişilemeyen bir yeri olan yeni bir telgraf sistemi üretti."

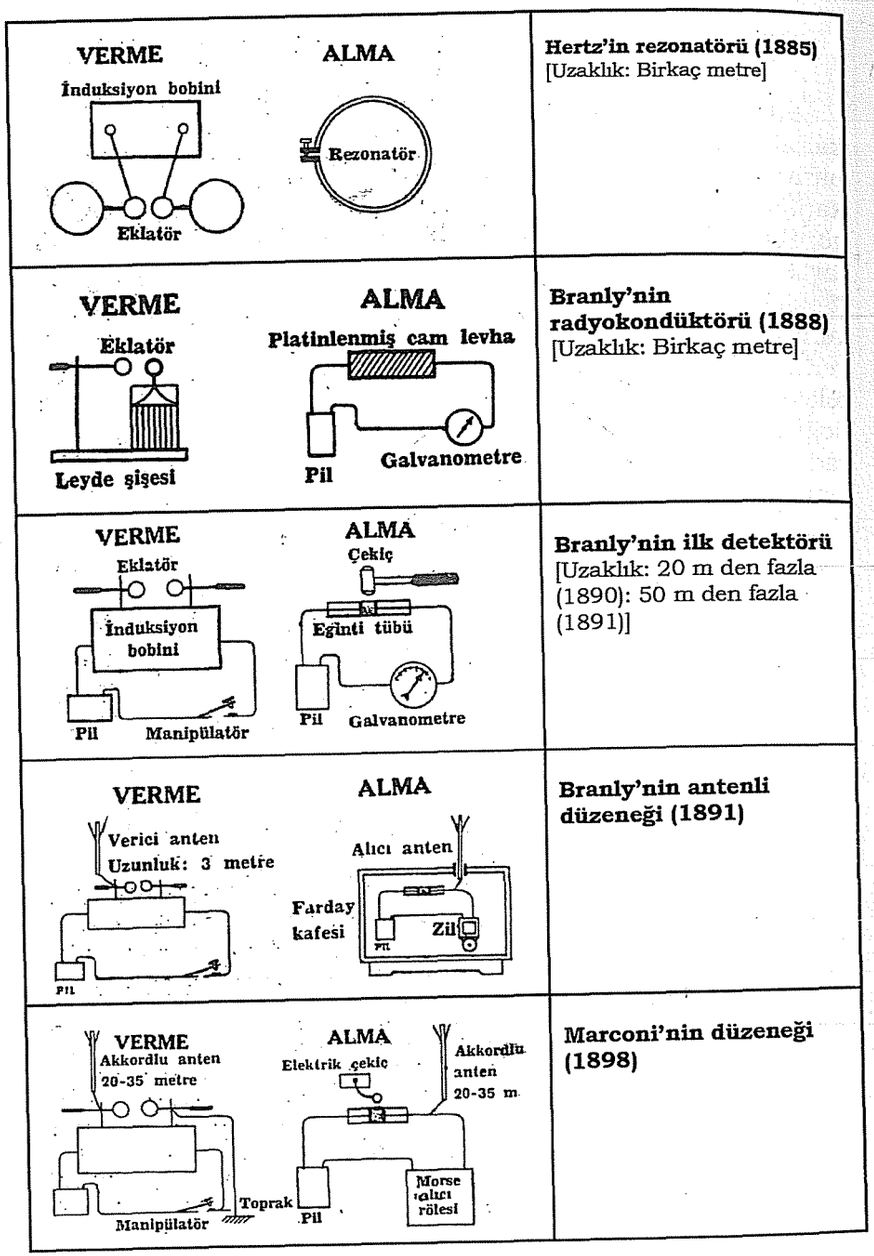
Buradan da Marconi'nin hiçbir şeyi icat etmediği, buna karşılık çeşitli kişilerin buluşlarını birleştirerek iyi bir biçimde pazarladığı sonucu çıkmaktadır. Telsiz telgrafın birçok kişinin katkısı ile oldukça uzun bir sürecin sonunda ortaya çıktığı görülmektedir. Burada Marconi'nin katkısı çok abartılmış olup tartışmalı bir konudur. Telsiz telgrafın gelişiminin ilk evreleri (Şekil – 13.94)'de şematik olarak gösterilmiş ve bir telsiz telgraf vericisi ile alıcısının basit şemaları (Şekil 13.95 ve 13.96)'da verilmiştir. Telsiz telgraftan kısa bir süre sonra bunun telefonla birleşmesi sonucunda mors alfabesi yerine sesleri doğrudan ileten telsiz telefon yani radyo ortaya çıkmıştır. İlk radyo yayını 1906'da başlamış ve bu iletişim teknolojisinde yeni bir çığırın başlangıcı olmuştur.



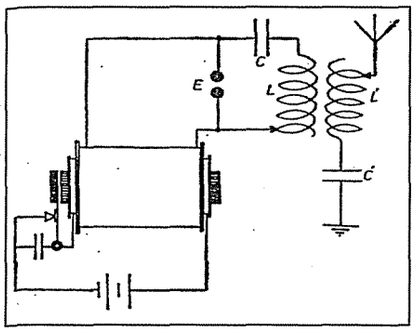
Şekil – 13.92: Marconi'nin ayarlanabilir vericisi. (1899). [Süsskind, s. 69].



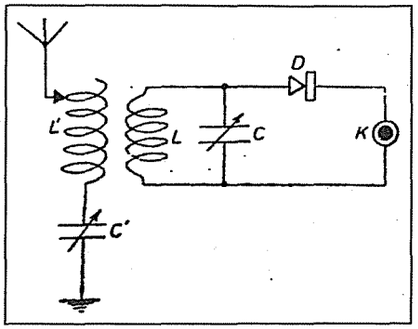
Şekil – 13.93: Marconi'nin 1901'deki ilk Atlantik aşırı telsiz sinyalini alan Newfoundland'daki Signal Hill alıcı istasyonu. [Derry ve Williams, s. 629].



Şekil – 13.94: Telsiz telgrafın gelişiminin ilk evreleri. [Saraç, s. 143].



Şekil – 13.95: Basit bir telsiz telgraf verici devresi.



Şekil – 13.96: Basit bir telsiz telgraf alıcı devresi. D = detektör ve K = kulaklık.

Telsiz telgrafın gerçek bulucusu kimdir ?

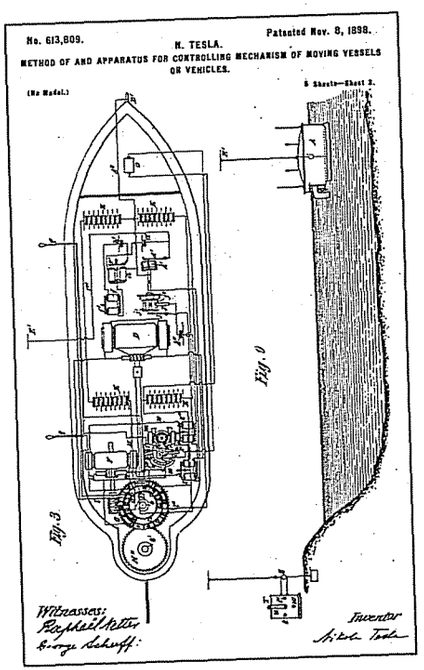
Hırvat asıllı elektrik mühendisi Nikola Tesla (1856 – 1943) Amerika'ya göç ettikten bir süre sonra 1884'de elektromagnetik dalgaları göndermek ve almak için temel olan ve *Tesla bobini* adıyla anılan indüksiyon bobinini buldu. 1895'de 80 km uzaklığa sinyal göndermek üzere yaptığı düzenek laboratuvarı ile birlikte yandı. Elektromagnetik dalgaların telsiz iletimi konusundaki ilk patentini 1897'de aldı ve 1898'de uzaktan kontrollu bir tekneyi New York'da yüzdürdü.[4] (Şekil – 13.97). Daha sonra Tesla bobininin uygulaması konusunda 20 Mart 1900'de USP 645.576[5] ve 15 Mayıs 1900'de USP 649.621[6] numaralı patentleri aldı. (Şekil – 13.98). Marconi 1896'da İngiltere'de aldığı patenti uygulatmak için 10 Kasım 1900'de Ameriken Patent Ofisi'ne başvurunca Tesla bobinini kullanmış olması nedeniyle başvurusu reddedildi. Tesla 1903'de sinyal aktarımı konusunda iki patent

4 USP No. 613.809: "Method and apparatus for controlling mechanism of moving vessels and vehicles" [Hareket eden tekne ve araçların kontrol mekanizması için yöntem ve alet], (8 Kasım 1898).

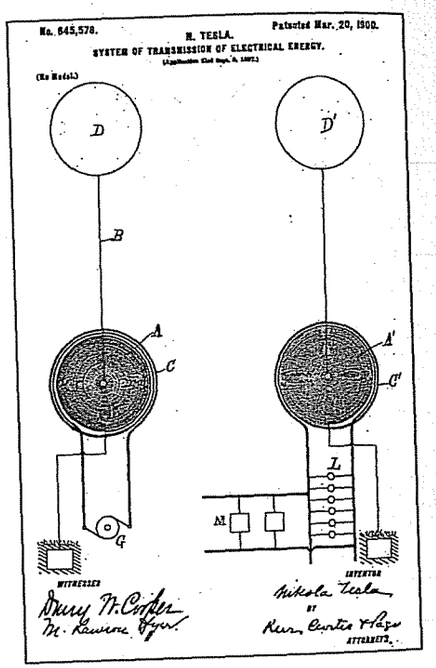
5 USP No. 645.576: "System of transmission of electrical energy" [Elektriksel enerjinin aktarım sistemi], (20 Mart 1900).

6 USP No. 649.621: "Apparatus for transmission of electrical energy" [Elektriksel enerjinin aktarımı için alet], (15 Mayıs 1900).

daha aldı.[7] Ancak üç yıl sonra yeniden başvurduğunda söylentiye göre babasının bazı ticari ilişkilerinin de devreye girmesi sonucunda 1904'de patent hakkı Marconi'ye verildi. Bundan sonra Tesla'nın 1915'de Marconi'nin şirketine karşı açtığı dava ile başlayan uzun hukuk süreci otuz yıl sonra sonuçlandı ve Amerikan Yüksek Mahkemesi 1943'de Tesla'nın ölümünden birkaç ay sonra USP 645.576 numaralı patentin hakkının kendisine ait olduğuna karar vererek telsiz telgrafın ve radyonun bulucusunun Nikola Tesla olduğunu tescil etti. Bununla birlikte Marconi'nin adı haksız olarak o kadar kuvvetli bir yer sağlamıştır ki onun adının yerine Tesla'nın adının geçirilmesi pratik olarak mümkün olamamıştır.



Şekil – 13.97: Nikola Tesla'nın "Hareket eden tekne ve araçların kontrol mekanizması için yöntem ve alet" başlıklı 8 Kasım 1898 tarihli ve USP 613.809 numaralı patentinden resim.



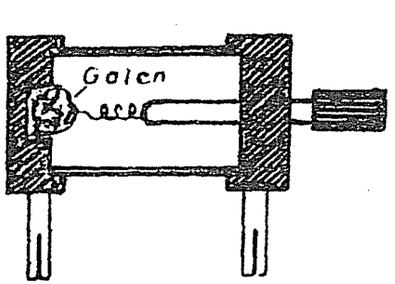
Şekil – 13.98: Nikola Tesla'nın "Elektriksel enerjinin aktarım sistemi" başlıklı ve 20 Mart 1900 tarihli USP 645.576 numaralı patentinden resim.

7 USP No. 723.188 (17 Mart 1903) ve USP No. 725.605 (14 Nisan 1903): "System of signaling" [Sinyalizasyon sistemi].

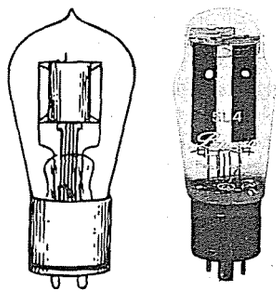
Diyodlar

Diyodlar akımı bir yönde geçirip karşıt yönde geçirmeyen sistemlerdir. Diyodlar kiristal diyodlar ve termoiyonik diyodlar olarak iki gruba ayrılır. Kristal diyodların ilk örneğini galen detektörler oluşturur. 1900'de bazı yarıiletken mineral kristallerinin elektrik akımını bir yöne doğru daha çok ve bunun karşıt yönünde ise daha az geçirdiği bulundu ve bundan yararlanılarak elektromagnetik dalgaları algılamak için kristalli detektörler yapıldı. Bu amaçla genellikle pirit (FeS_2) ve galen (PbS) kristalleri kullanılmıştır. Galenli detektörlerde bir metal yuva içine yerleştirilmiş bir galen kristalı ile ucu bu kristal üzerindeki bir noktaya dokunan bir tel blunur. (Şekil – 13.99). Telin kristal üzerinde gezdirilmesi ile farklı dalgaboylarındaki elektromagnetik dalgalar veya başka bir deyimle farklı istasyonların yayınları bulunur ve yay biçimindeki tel bu nokta üzerine hafif bir basınçla dokunur.

Termoiyonik diyodların ilk örneği 1904'de İngiltere'de John Fleming tarafından yapıldı ve bunlar genellikle vakumlu diod, vakum tüpleri veya diyod lâmba olarak adlandırıldı. (Şekil – 13.100). Daha sonra kuvvetlendirici devrelerde kullanılan, anod, katod ve bir ızgaradan oluşan bir vakum tüpü olan triyod lâmba 1906'da Amerika'da Lee de Forest tarafından geliştirildi.



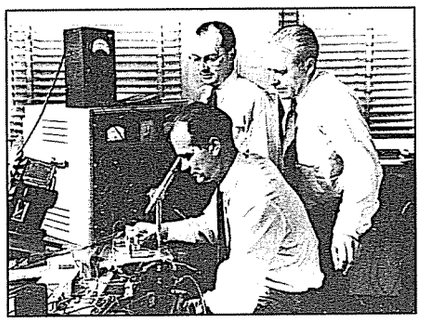
Şekil – 13.99: Galenli detektör (diyod).



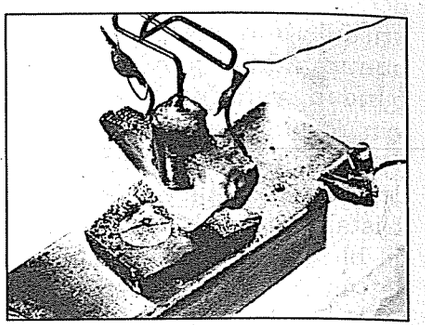
Şekil – 13.100: Vakumlu diyod (lâmba).

Kristal diyodların bir uzantısı olarak Amerika'da Bell Laboratuvarı'nda Walther H. Brattain ve John Bardeen ile daha sonra onlara katılan John Schottky tarafından

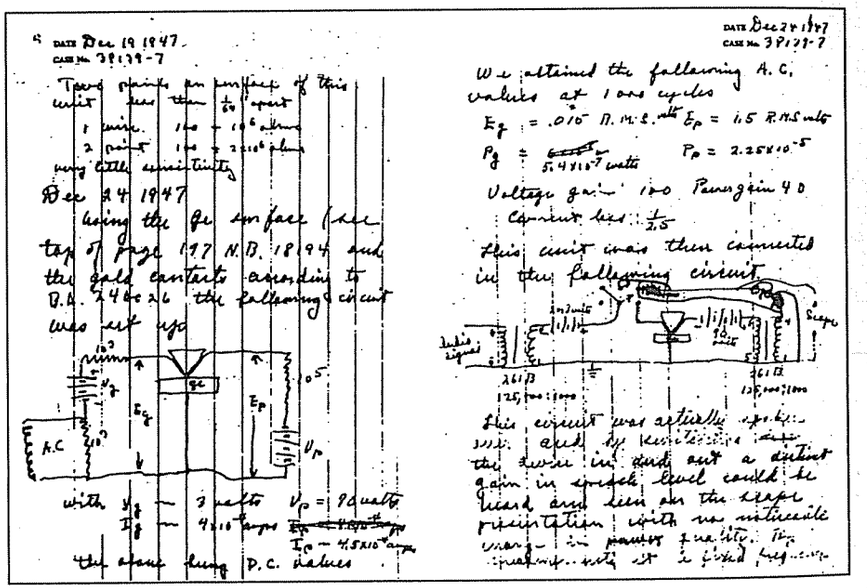
germanyum diyod olan transistör geliştirildi ve 1948'de açıklanarak 1950'de patenti alındı. Bu üçlüye buluşları nedeniyle 1956 Nobel Fizik Ödülü verildi. Daha sonra 1957 – 1958'de Jack Kilby ile Robert Noyce entegre devreleri geliştirdiler. (Şekil – 13.101, 13.102 ve 13.103).



Şekil – 13.101:. Soldan sağa Bardeen (solda) ile Brattain (sağda) oturan Schockley'e transistorün ilk örneğini gösteriyorlar



Şekil – 13.102: Transistorün ilk örneği. [Leblebici, s. 78].

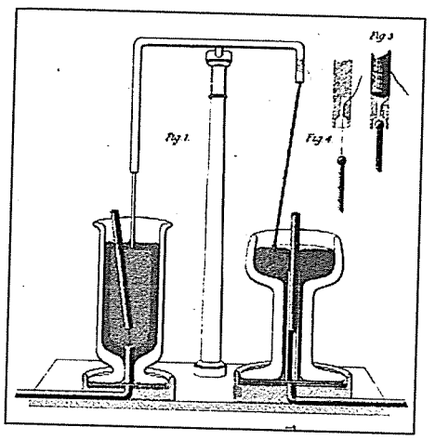


Şekil – 13.103: Brattain'in not defterinin transistorün bulunuşuna ilişkin 19 Aralık 1947 tarihli sayfası. [Leblebici, s. 79].

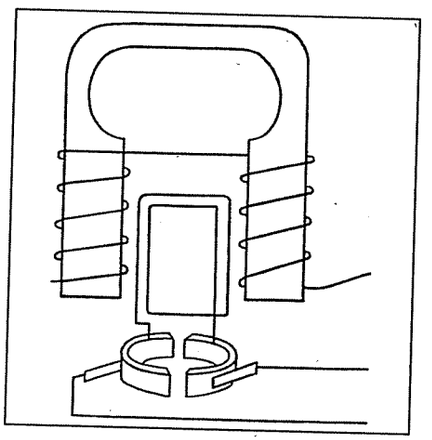
ELEKTRİK AKIMININ ÜRETİLMESİ

İlk elektrik jeneratörleri

Elektrik jeneratörünün ve elektrik motorunun temel ilkesi Michael Faraday tarafından ortaya konulmuştur. Buna göre, bir iletken sargı bir magnetik alan içinde döndürülürse bir jeneratör elde edilir ve sargının üzerinde bir elektrik akımı oluşur. Buna karşılık sargıya dışarıdan elektrik akımı verilirse sargı magnetik alan içinde döner ve bu durumda da bir elektrik motoru elde edilir. (Şekil 13.104 ve 13.105).



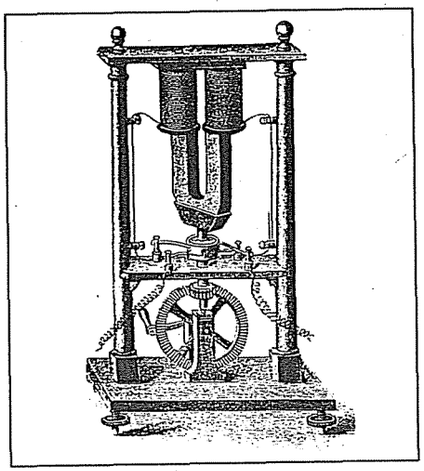
Şekil – 13.104:. Faraday'e göre elektrik jeneratörü ve motorunun temel ilkesi. Solda sabit telin çevresinde dönen mıknatıs (jeneratör) ve sağda sabit mıknatısın çevresinde dönen tel (motör). [Teichmann (2002), s. 60].



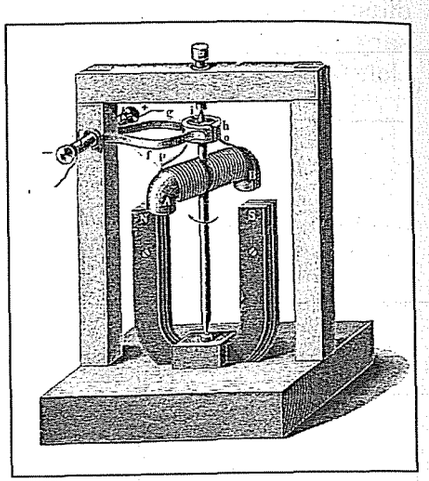
Şekil – 13.105: Elektrik jeneratörü (dinamo) ve motorunun temel yapısı bir magnetik alan içinde dönebilen bir iletken tel sargıdan oluşur. Sargı mekanik olarak çevrildiğinde elektrik akımı oluşur ve sargıya akım verildiğinde kendiliğinden dönerek elektrik motoru olur. [Turner, s. 103].

Kimyasal piller birçok amaç için uygun bir elektrik kaynağı olmakla birlikte elekriğin büyük miktarlarda ısı, ışık ve güç kaynağı olarak kullanılabilmesi için elektromekanik yoldan elektrik üreten jeneratörlere gerek vardır. Michael Faraday'in jeneratörün temel ilkesini ortaya koymasının ardından elektromekanik yollarla elektrik üreten jeneratörlerin yapımı konusundaki girişimler de başlamıştır.

İlk mekanik jeneratör 1832'de Paris'de bir alet yapımcısı olan Hippolyte Pixii (1808 – 1835) tarafından gerçekleştirildi. (Şekil – 13.106). Burada bobinler sabit olup atnalı biçiminde bir mıknatıs bunların karşısında elle çevrilerek döndürülmekteydi. Bir yıl sonra İngiltere'de karşıt ilkeye göre çalışan, yani mıknatısların sabit olup bobinlerin döndüğü bir model ortaya konuldu. (Şekil – 13.107). 1834'den sonra döner bobinli bir jeneratör Londra'da piyasaya çıktı.



Şekil – 13.106: Pixii tarafından yapılan ilk jeneratör. Doğru akım elde edebilmek için bir komütatör takılmıştır. [Derry ve Williams, s. 613].

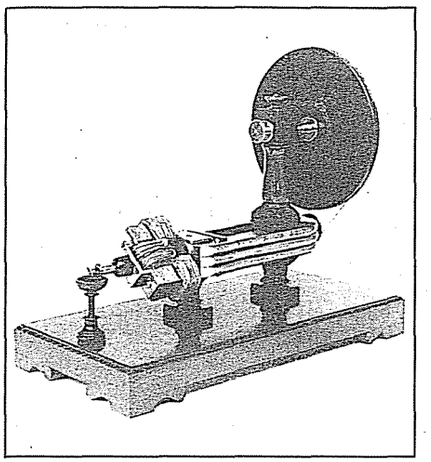


Şekil – 13.107: William Ritchie'nin mıknatısın sabit olup bobinin döndüğü elektromagnetik makinesi. [Grundmach ve Rosenboom, s. 554].

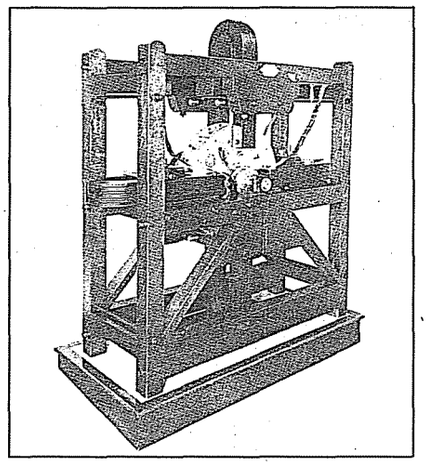
İlk jeneratörler alternatif akım üretiyordu ve bu da pillerin kullanıldığı alanlar için uygun değildi ve doğru akıma alışanlar alternatif akımı yadırgıyordu. Bu sorun İngiliz William Sturgeon (1783 – 1850) tarafından bir mekanik komütatörün geliştirilmesi ve bunun Pixii'nin jeneratörüne takılmasıyla çözüldü.

Amerikalı mucit Joseph Saxton (1799 – 1873) 1833'de bir bobinin bir mıknatıs karşısında döndürülmesiyle eilektrik oluşumunu göstermek için elle çevrilen bir jeneratör yaptı. Burada oluşan elektrik kıvılcım biçiminde gözleniyordu. (Şekil – 13.108). İngiltere'de Birmingham'da John Stephen Woolrich

1844'de elektrolitik kaplama (galvanoplasti) için akım üretmek üzere bir jeneratör yaptı. (Şekil – 13.109).



Şekil – 13.108:. Saxton'un magnetoelektrik jeneratörü. (1833). [Bowers, s. 358].

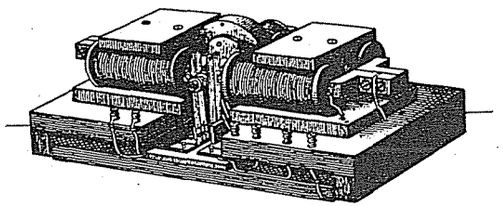


Şekil – 13.109: Woolrich'in jeneratörünün replikası. (1844). [Bowers, s. 359].

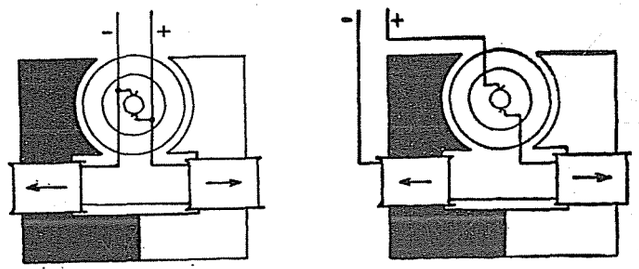
Bundan sonra jeneratörler konusundaki gelişmeler hızla birbirini izledi. Dikdörtgen biçimindeki bir bobinin bir magnetik alan içinde dönme hızına bağlı olarak elde edilen akımın gerilimi de değişiyordu. Bunun için sargılardan oluşan bir sistem geliştirildi ve ardı ardına gelen her sargı maksimum gerilim üretiyordu ve bu da belirli bir dönme hızında gerilimin oldukça sabit kalmasını sağlıyordu.

İlk İngiliz elektrik dergisi olan *Annals of Electricity*'nin kurucusu William Sturgeon (1783 – 1850) sabit mıknatıslar yerine pil bataryaları ile uyarılan elektromıknatıslar kullandı. Bunun ardından asıl önemli gelişme olarak *self-excitation* [kendini uyarma/besleme] ilkesinin 1855'de Danimarkalı mühendis Søren Hjorth tarafından ortaya konulması oldu. Hjorth patent almış olmakla birlikte bunu açıklamadı. Patentine göre jeneratör başlangıçta sabit mıknatıslar ile çalışmaya başladıktan sonra ürettiği elektriğin bir bölümü elektromıknatısları beslemek için kullanılıyordu. Aradan on yıl geçmeden elektromıknatısların yumuşak demirden olan çekirdeklerinde yeterli miktarda magnetizmanın kaldığı ve

bunun da elektrik jeneratörünü başlatmak için yeterli magnetik alanı sağladığı anlaşıldı. Søren Hjorth'ün açıklamadığı buluşu 1866'da Amerikalı mühendis Cromwell Fleetwood Varley (1828 – 1883) tarafından yeniden bulundu. (Şekil – 13.110 ve 13.111).



Şekil – 13.110: Varley'in kendini besleyen jeneratörü. (1866). [Derry ve Williams, s. 614].



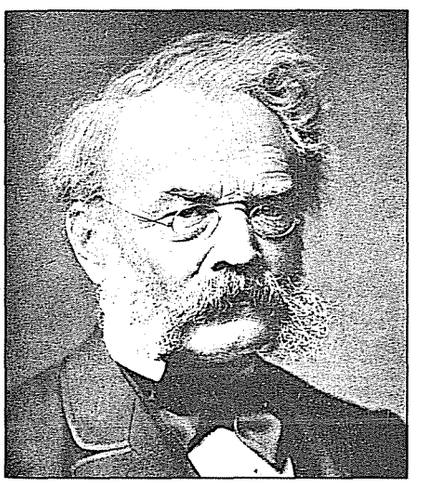
Şekil – 13.111: Bir dinamonun indükliyeninin bir elektromıknatıs olarak dinamonun ürettiği akımla baslenmesi. Solda paralel ve sağda seri bağlama ile besleme.

Kendini besleme ilkesine dayanan dinamolar aynı zaman dilimi içinde çeşitli kişilerce gerçekleştirildi. Bunların başında, Berlin Bilimler Akademisi'ne böyle bir dinamo sunan ve *dynamo* sözcüğünü öneren Werner von Siemens (1816 – 1892)[8] (Şekil – 13.112) ile Londra'da Royal Society'ye böyle bir

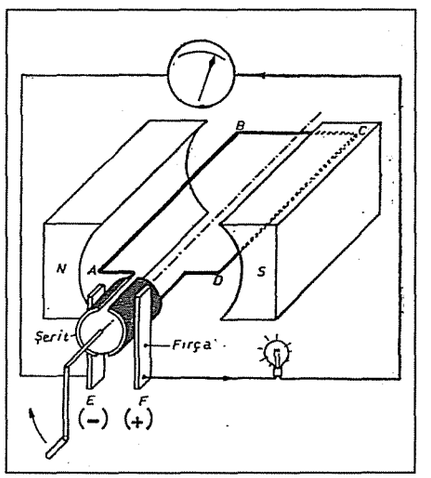
8 *Ernst Werner von Siemens (1816 – 1892):* Askeri okula girerek Prusya Ordusu'nda topçu subayı oldu. 1839'da ordudan ayrılıp kimya ve fizik ile ilgilenmeye başladı. 1847'de Johann Georg Halske (1819 – 1890) ile ortak Siemens & J. G. Halske Şirketi'ni kurarak bir telgraf üretim atölyesi açtı. Burada İngiliz Charles Wheatston'un telgrafını geliştirdi ve 1848'de Berlin ile Frankfurt am Main arasında Avrupa'nın en uzun telgraf hattını döşedi. Küçük kardeşi Carl Wilhelm (William) von Siemens'i (1823 – 1883) geliştirdiği elektroliz sitemini pazarlamak için İngiltere'ye gönderdi ve 1851'de Siemens & Halske firmasının temsilcisi oldu. İngiltere'de ve dünyanın başka bölgelerinde karada ve deniz altında telgraf hatları döşediler. 1866'da yeni bir dinamo yaptı ve 1878'den itibaren ticari olarak dinamo ve motor üretmeye başladı. 1879'da elektrikli lokomotif ve ardından elektrikli tramvayı gerçekleştirdi. Daha sonra ray üstünde gitmeyip yukardaki tellerden elektrik alan troleybüsü geliştirdi. Siyasetle de yakından ilgilendi. [Day ve McNeil, s. 642 – 643].

dinamo sunan kardeşi William Siemens (1823 – 1883) gelmektedir. Kendini besleyen dinamolar 1861'de Budapeşte'de Macar fizikçi Anyos Jeldik (1800 – 1895), İngiltere'de Charles Wheatstone (1802 – 1875) ve Henry Wilde (1833 – 1919) ve Amerika'da Moses Farmer (1820 – 1893) taarfından birbirinden bağımsız olarak gerçekleştirildi.

Dinamonun çalışma ilkesi: İndüksiyon yoluyla doğru akım üreten üreteçlere dinamo adı veirilir. Kapalı bir devre bir magnetik alan içinde sürekli olarak hareket ettirilirse sürekli bir indüksiyon elektromotor kuvveti elde edilir. En uygun hareket biçimi dönme hareketidir ve dinamolar bu ilkeye dayanılarak yapılmıştır. (Şekil – 13.113). Bir dinamo aşağıdaki temel bölümlerden oluşur: (1) Magnetik alan oluşturan basit bir elektromıknatıs veya sabit mıknatıs (indükleyici), (2) İndükleyenin magnetik alanı içinde dönerek sürekli olarak magnetik akı değişimleri oluşturan hareketli bir sarım (ABCD) veya bobin (indüklenen), (3) Oluşan indüksiyon akımlarını toplayıp kullanma devresine gönderen toplaç, şerit ve fırçalar.



Şekil – 13.112: Werner von Siemens. (1816 – 1892). [Matschloss, sb 4-241].

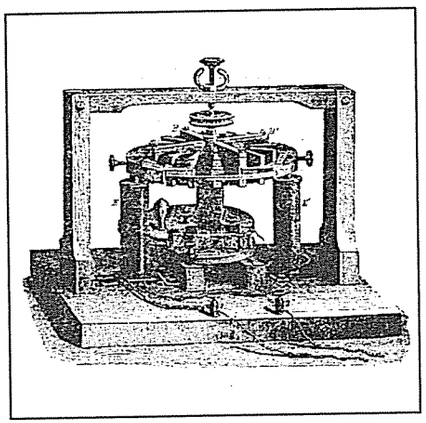


Şekil – 13.113: Bir dinamonun temel kısımları ve çalışma ilkesi.

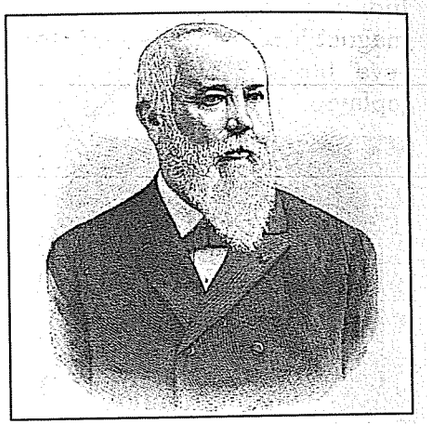
Werner von Siemens tarafından 1856'da gelişmiş bir dinamonun patenti alındı ve yaygın olarak kullanılmaya başlandı. Bununla birlikte fazla ısındığından enerji kaybına neden olduğu gibi büyük makinelerde su ile soğutmak gerekiyordu.

Gramme sargılı dinamolar

1860'da İtalyan fizikçi Antonio Pacinotti (1841 – 1912) halka biçimli sargıyı tasarladı ve dört yıl sonra yayınladığında çok az ilgi çekti. (Şekil – 13.114). Benzer bir halka armatür 1870'de Belçikalı elektrik teknisyeni Zénobe Gramme (1826 – 1901)[9] tarafından ortaya konuldu. (Şekil – 13.115, 13.116, 13. 117 ve 13.118) . Buhar makineleri tarafından çevrilen bu dinamo aşırı ısınma yapmadan düzenli akım sağlıyordu.

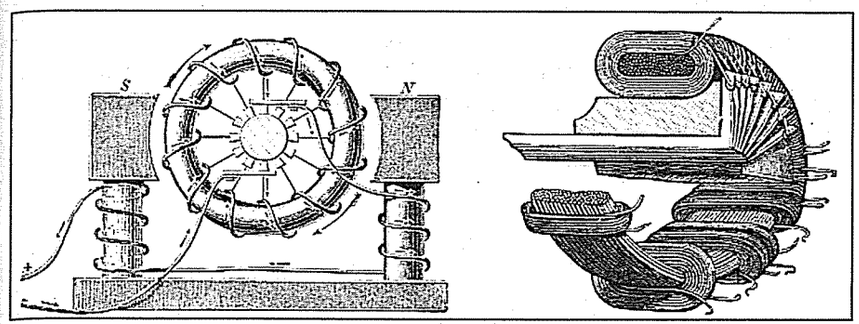


Şekil – 13.114: Pacinotti'nin halka sargılı jeneratörü. (1863). [Kirby, s. 353].

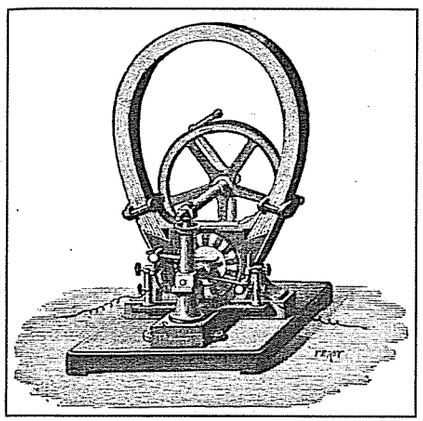


Şekil – 13.115: Zénobe Gramme. (1826 – 1901).

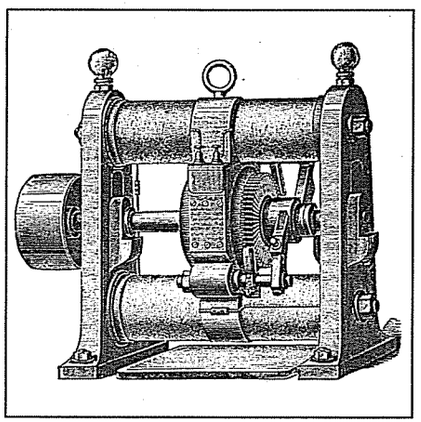
9 *Zénobe Théophile Gramme (1826 – 1901):* Belçikada doğdu ve fazla bir eğitim görmeden marangoz olarak yetişti. Paris'de elektrik malzemesi üreten bir firmada kalıpçı olarak çalışırken elektrik ile ilgilenmeye başladı. Çalışmaları sonucunda 1870'de ısınma sorunu olmayan halka sargılı dinamoyu geliştirdi ve bunu 1873'de açıkladı. Bu dinamoya kendini besleme sistemini uygulayarak bir yandan dinamonun boyutunu küçültürken öte yandan da gücünü arttırdı. Dinamo dışardan akım verildiğinde bir elektrik motoru olarak da çalışıyordu. Hippolyte Fountaine ile birlikte bir fabrika kurarak dinamo üretmeye başladı ve hızla yayılan dinamoları elektrikle aydınlatmanın yolunu açtı. [Day ve McNeil, s. 300 – 301].



Şekil – 13.116: Gramme tarafından gerçekleşterilen halkalı sargı. (1870). [Grunmach ve Rosenboom, s. 581].



Şekil – 13.117: Gramme tarafından yapılan ve elle çevrilen ilk dinamo.

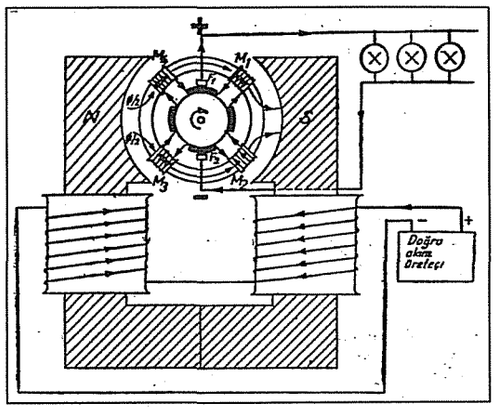


Şekil – 13.118: 1870'lerde aydınlatma için kullanılan küçük bir Gramme dinamosu.

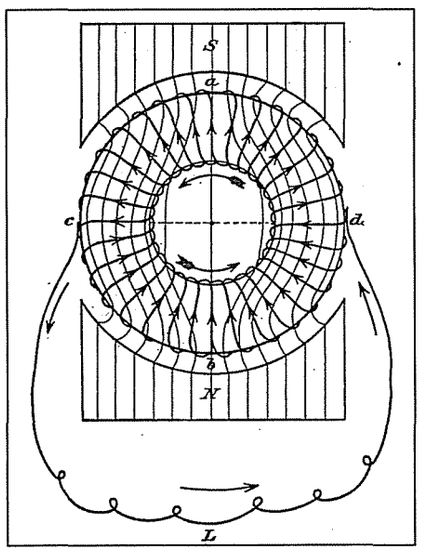
Bu dinamoda indüklenen çok sayıda bobine bölünmüştür. (Şekil – 13.119). Dönme sırasında M_1 ve M_3 bobinlerinden geçen magnetik akı azalırkan M_2 ve M_4 bobinlerinden geçen magnetik akı artar. Buna gre, Lenz yasası uyarınca bu bobin gruplarında oluşan akımlar birbirine ters yöndedir. Bu dinamoda indüklenenin toplam sarım sayısı = N, indükleyenden çıkan toplam magnetik akı = Φ ve saniyedeki dönme sayısı = n olmak üzere indüklenenin dört bobine bölünmüş olması durumunda elektromotor kuvvet,

$$E = 10^{-8} \times \Phi \times n \times N$$

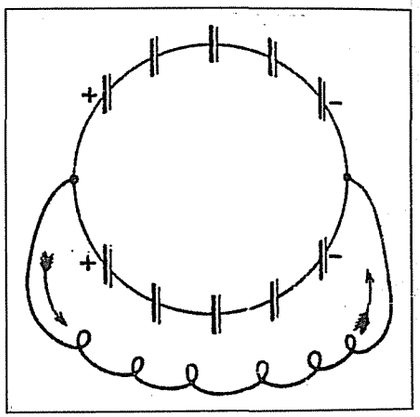
bağıntısı ile bulunur. (Şekil – 13.120 ve 13.121). Bu tür dinamolar ısınma yapmadan sürekli olarak çalışabildğinden kısa sürede yaygınlaşmışlardır. Gramme 1871'de bu dinamonun dışarıdan akım verilerek bir motor olarak da çalıştırılabileceğini bulmuştur.



Şekil – 13.119: Bir Gramme sargılı dinamonun çalışma sistemi.

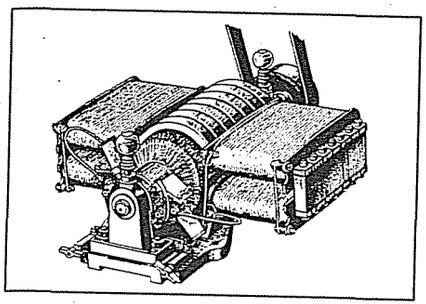


Şekil – 13.120: Gramme sargılı bir dinamoda magnetik kuvvet çizgilerinin sargıdan geçişi. [Grunmach ve Rosenboom, s. 580]

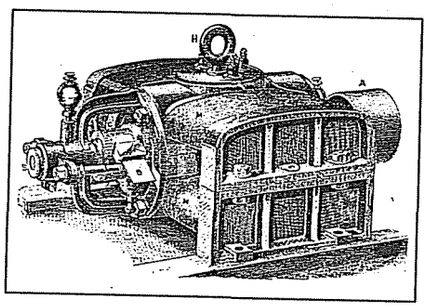


Şekil – 13.121: Gramme sargılı bir dinamoda sargıyı oluşturan bobinlerde ortaya çıkan akımın toplanarak alınması. Her bir bobin ayrı bir üreteç gibi davranır ve bunlar birbirine seri olarak bağlanmış iki grup oluştururlar. [Grunmach ve Rosenboom, s. 581].

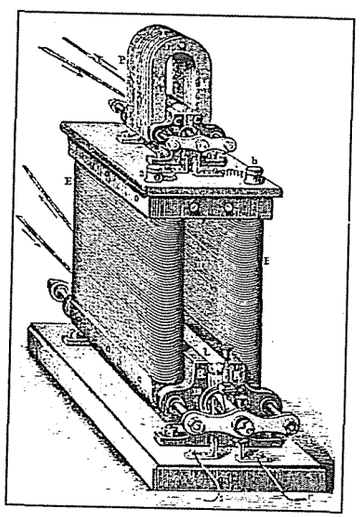
Gramme dinamoları kısa sürede yaygınlaştığı gibi İsviçre'de Basel'de Emil Bürgin (1848 – 1933), İngiltere'de Rookes Evelyn Bell Crompton (1845 – 1940), İsveç'de Jonas Wenström (1855 – 1893) ve Almanya'da Siemens & Halske Co. tarafından geliştirilerek davul (drum) sargıya dönüştürüldü. (Şekil – 13.122 ve 13.123).



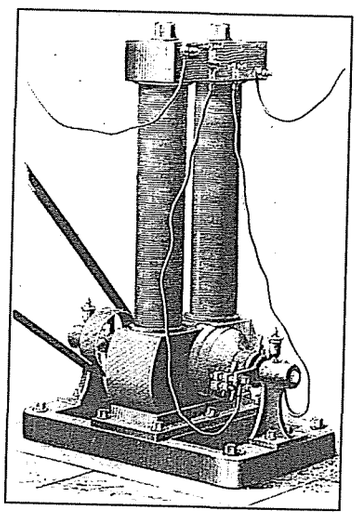
Şekil – 13.122: Davul (drum) sargılı dinamo. (1876). [Derry ve Williams, s. 615].



Şekil – 13.123: Crompton ve Bürgin'in davul sargılı dinamosu. [Bowers, s. 361].



Şekil – 13.124: Henry Wilde'ın (1833 – 1919) 1870'lerde yaygın olarak kullanılan dinamosu. Sargının içinde döndüğü magnetik alanı oluşturmak için ayrı bobinler kullanılmıştır. [Grunmach ve Rosenboom, s. 578].



Şekil – 13.125: Thomas Alva Edison taarfından 1879'da yapılan ve "Jumbo" adı verilen dinamo.

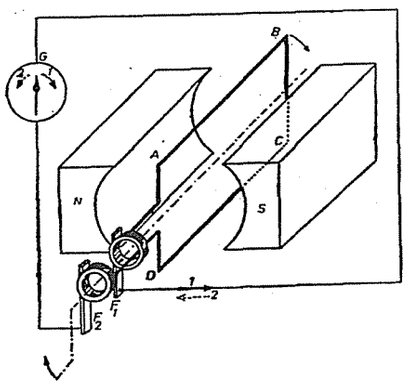
ALTERNATİF AKIM

Alternatif akım

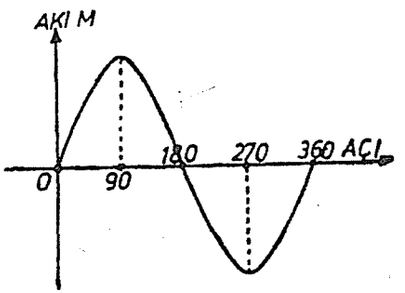
Zamana bağlı olarak, yönü, gerilimi ve şiddeti periyodik olarak değişen elektrik akımına *alternatif akım* adı verilir. Alternatif akım jeneratörlerinin (alternatör) temel yapısı dinamodan çok farklı değildir. (Şekil – 13.126). Magnetik alan içinde dönen ABCD sarımının uçları sarımla birlikte dönen birer metal yüzüğe bağlanmıştır ve oluşan akım F_1 ve F_2 fıçaları yardımıyla alınır. İlk ve ikinci 90° lik dönmelerde oluşan akım F_1 fırçasından dış devreye çıkarken üçüncü ve dördüncü 90° lik dönmelerde oluşan karşıt yönlü akım da F_2 fırçasından dış devreye çıkar. Sarımın bir tam dönme yapması için geçen süreye *periyot* **(T)** ve bir saniyedeki dönme sayısına da *frekans* **(u)** adı verilir. (Şekil – 13.127). Yarım periyotluk sürelerle akımın yönü değişir ve yarım periyotluk sürelerle de gerilimi ile şiddeti maksimum değere ulaşır.

$$V_{AB} = V_m \cdot \sin \frac{2\pi}{T} t \qquad I = I_m \cdot \sin \frac{2\pi}{T} t$$

Alternatif akım yönü değiştiğinden elektroliz gibi bazı alanlarda kullanılamamakla birlikte elektrik enerjisinin iletimi ve dağıtımı bakımından çok uygundur.



Şekil – 13.126: Bir alternatif akım jeneratörünün (alternatör) çalışma şeması.

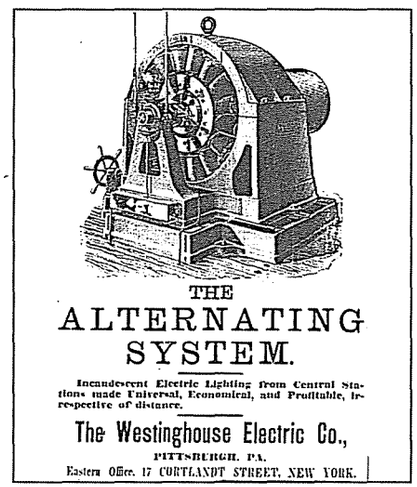


Şekil – 13.127: Alternatif akımın sinüzoidal grafiği.

Elektrik santrallerinin kurulması

Önceleri elektrik arkının aydınlatma amacıyla kullanımı ve daha sonra da elektrik ampulünün bulunması elektrikle aydınlatmayı yaygınlaştırarak elektrik santrallerinin kurulmasını hızlandırdı. Dinamoların gelişmesi ile birlikte elektrik arkıyla aydınlatma için küçük çapta ve doğru akım olarak elektrik üretimi başladı. İlk örnekler olarak 1875'de Paris'de Gare du Nord'u ark lambası ile aydınlatmak üzere bir Gramme dinamosu kuruldu. Aynı yıl Mülhausen'de bir değirmen ile Noisiel-sur-Marne'da bir çikolata fabrikası elektrik arkıyla aydınlatıldı.

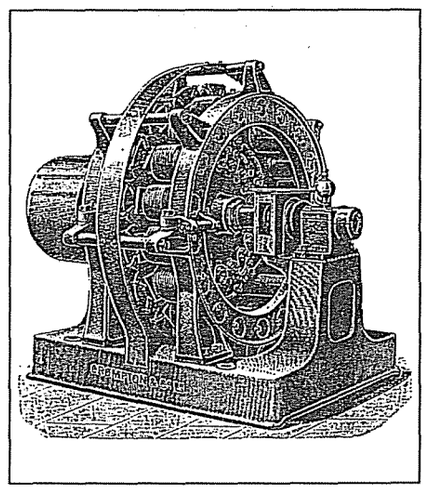
1880'li yıllara gelindiğinde alternatif akımın üstünlükleri anlaşılmaya başlandı. Michael Faraday tarafından temel ilkesi 1831'de ortaya konulmuş olan transformatör ile gerilimi yükseltilip güç kaybı olmaksızın uzun mesafelere iletilebilmesi ve tekrar gerilimi düşürülerek kullanıma sunulması büyük bir üstünlüktü. Bununla birlikte alternatif akımın üstünlüğü hemen kabul görmedi. Aşağıda küçük çaplı iki alternatör örneği verilmiştir. (Şekil – 13.128 ve 13.129).


THE
ALTERNATING
SYSTEM.

Incandescent Electric Lighting from Central Stations made Universal, Economical, and Profitable, irrespective of distance.

The Westinghouse Electric Co.,
PITTSBURGH, PA.
Eastern Office, 17 CORTLANDT STREET, NEW YORK.

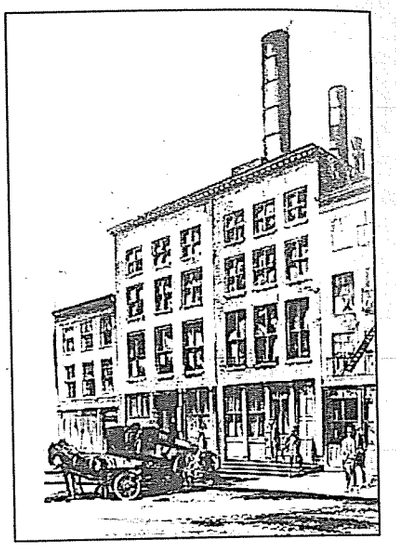
Şekil – 13.128: "The Westinghouse Electric Co." tarafından üretilen bir alternatörün ilânı.



Şekil – 13.129: "Crompton & Co. Ltd." tarafından 1904'de üretilmiş olan bir alternatör. Sabit ve hareketli kısımların bobinleri görülmektedir.

Pratik olarak kullanılabilir elektrik ampulünü yapan Amerikalı mucit Thomas Alva Edison (1847 – 1931)[10] (Şekil – 13.130) ampulün kullanımını yani elektrikle aydınlatmayı yaygınlaştırabilmek için New York'da bir elektrik üretim tesisi ile dağıtım şebekesi kurdu. (Şekil – 13.131, 13.132, 13.133 ve 13.134).

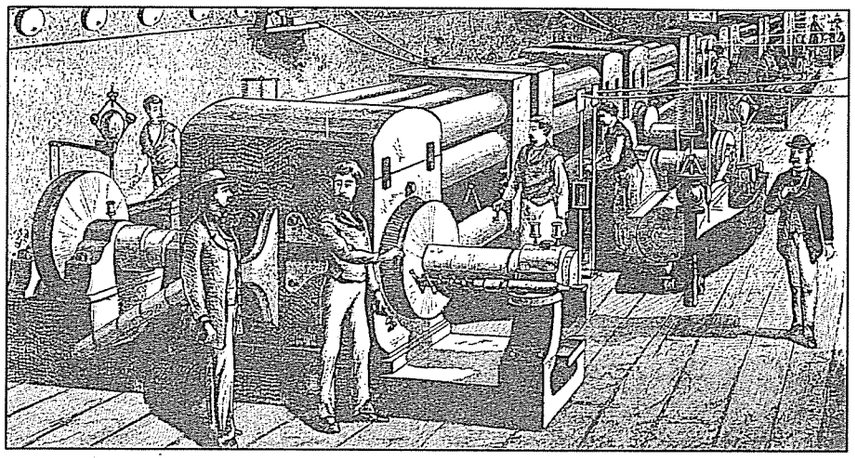
Şekil – 13.130: Thomas Alva Edison. (1847 – 1931).



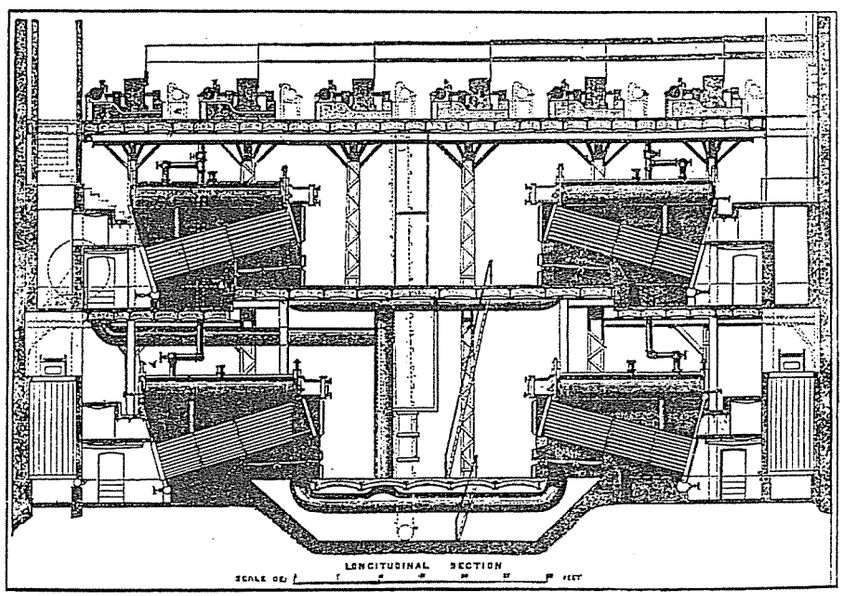
Şekil – 13.131: New York'daki "Pearl Street Station" elektrik santralinin dıştan görünümü.

10 *Thomas Alva Edison (1847 – 1931):* Belirli bir öğrenim görmedi ve 14 yaşındayken trenlerde gazete satıcılığına başladı. Bu sırada bir yandan çok sayıda kitap okuyup öte yandan deneyler yapmaya başladı. Kendi kendine çalışarak 16 yaşında telgafçı oldu ve geceleri çalışıp gündüzleri deneyler yapmaya başladı. 1869'da New York'da Western Union Telgraf Şirketi ile çalışmaya başladı. Bir süre sonra kendi araştırma, laboratuvarını kuracak düzeye geldi ve 1877'de New Jersey'de Menlo Park'da laboratuvarını kurdu. Burada teksir makinesini, fonografı ve elektrik ampulünü geliştirdi. Bell'in telefonu için sesi daha iyi alan karbon dirençli mikrofonu buldu. 1881 Paris Sergisi'nde 27 tonluk ve 1200 ampulü yakabilen dünyanın en büyük dinamosunu sergiledi. Ertesi yıl 1882'de kendi elektrik santralini kurarak aydınlatma için enerji dağıtmaya başladı. Laboratuvarını 1887'de New Jersey'deki West Orange'a taşıdı. Burada 1891'de hareketli resim gösteren kinetoskopu buldu ise de kısa bir süre sonra Lumiere Kardeşlerin sinema makinesini bulmaları bu buluşunun önemini ortadan kaldırdı. [Day ve McNeil, s. 231 – 233; Feldman ve Ford, s. 210 – 211].

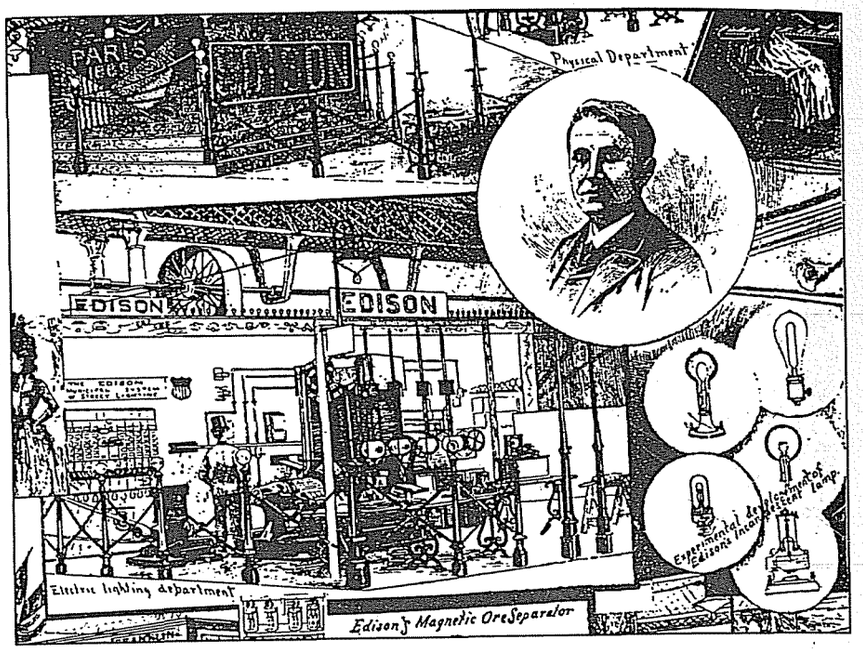
Edison ısrarla doğru akımdan yana oldu ve bu ısrarı nedeniyle kurduğu dağıtım şebekesi fazla genişleyemedi.



Şekil – 13.132: New York'da "Pearl Street Station" elektrik santralinin jeneratör dairesi. (1882). Burada pistonlu buhar makineleri ile çalıştırılan dinamolarla doğru akım elde edilerek dağıtılıyordu. [Kirby, s. 358].



Şekil – 13.133: New York'daki Pearl Street Station elektrik santralinin kesiti. Burada buhar kazanları, buhar makineleri ve jeneratörler görülmektedir. (1882). Kirby, s. 359].



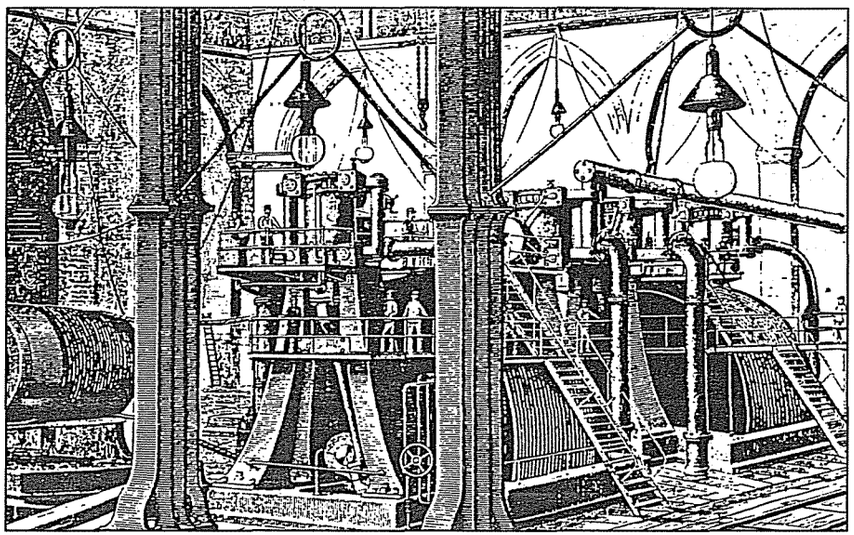
Şekil – 13.134: 1889 Paris Sergisi'nde ampuller, ark lâmbaları ve kuvvet santrali ile Edison'un pavyonunun tanıtımı. [*Electrical World* (Kasım 1889)].

Elektrik alanına Edison'un en önemli katkısı kurduğu bir elektrik santrali yardımıyla elektriği gaz ve su gibi bir dağıtım şebekesiyle dağıtmasıydı.

Alternatif akım üreten ve pistonlu buhar makineleri ile çalışan gerçek anlamda ilk elektrik santrali 1889'da İngilteer'de Deptford'da "London Electricity Supply Corporation" tarafından kuruldu. Bu elektrik santralinde 4 tane 10.000 BG buhar makinesi 10.000 V luk alternatörleri ve 2 tane 1.250 BG buhar makinesi de 5.000 V luk alternatörleri çalıştırıyordu. Bu tesis modern santrallerin ilk örneklerinden birini oluşturur. (Şekil – 13.135).

Elektriğe artan talep elektrik elde edilmesinde ucuz güç kaynağı olarak su gücünü gündeme getirdi. Su çarkları XIX. yüzyılda su türbinlerine evrilerek önemli gelişmeler gösterdi. 1827'de Benoit Fourneyron'un yaptığı türbin 107 m lik bir su düşüşü ile dakikada 2.300 devire ulaşmıştı. !843'de Nicholas

J. Jonval'in daha uygun olan aksiyal akışlı türbini bunun yerini aldı. 1820'de Jean Victor Poncelet tarafından ortaya konulan türbin 1852'de James Francis ve James Thompson tarafından geliştirildi. 1870'lerde İngiliz maden mühendisi Lester Pelton kendi adıyla anılan türbini ortaya koydu.



Şekil – 13.135: İngiltere'de Deptford elektrik santrali. (1889). [Derry ve Williams, s. 616].

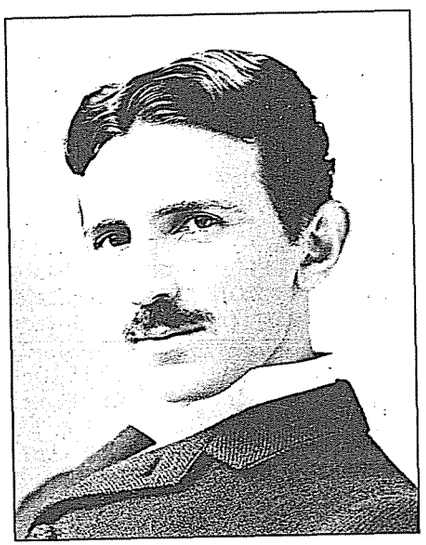
Amerika'da Hırvat asıllı elektrik mühendisi ve mucit Nikola Tesla (1856 – 1943)[11] (Şekil – 13.136) alternatif akımın

---

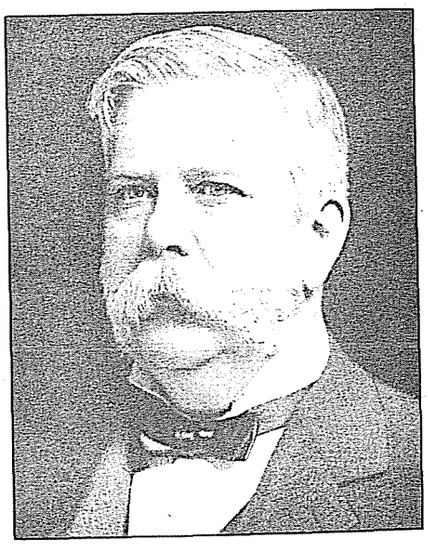
11 *Nikola Tesla (1856 – 1943):* Hırvat asıllı ve okur yazar olmayan bir anne ile bir köy papazının oğlu olan Nikola Avusturya'da Graz Technische Hochschule [Graz Teknik Yüksek Okulu]'nda öğrenim gördü. Burada gördüğü bir Gramme motoru kıvılcımlar saçarak çalışıyordu. Bu sırada döner magnetik alan kavramı üzerinde düşünmeye başladı. 1881'de Budapeşte'ye giderek telgraf sistemleri ve döner magnetik alanlar üzerinde çalıştı. 1882'de Paris'e giderek Edison'un şirketinde çalışmaya başladı ve 1884'de Amerika'ya göç etti. 1888'de döner magnetik alanlı indüksiyon motorunun patentini aldı. Motorları ile George Westinghause ilgilenerek patentlerini satın aldı. İndüksiyon motoru konusunda Galileo Ferraris'de (1847 – 1897) benzer bir buluş yapmıştı. Motorların yanında yüksek frekanslı akımlar, hava soğutmalı transformatörler, ark lâmbaları gibi yedi yüzden fazla buluşu olan ve 12 dil bilen Tesla bunların karşılıklarını göremeden bir otel odasında tek başıan öldü. [Day ve McNeil, s. 637; Feldman ve Ford, s. 228 – 229].

savunucusu oldu. 1882'de Paris'de Edison'un şirketinde çalışmaya başlayan Tesla daha sonra 1884'de Amerika'ya göç etti ve bir süre Edison ile birlikte çalıştıktan sonra alternatif akım konusunda onunla anlaşmazlığa düşerek ayrıldı. Daha sonra "Tesla Electric Company" adı altında kendi şirketini kurarak çalışmalarını burada sürdürdü. (Şekil – 13.138 ve 13.139).

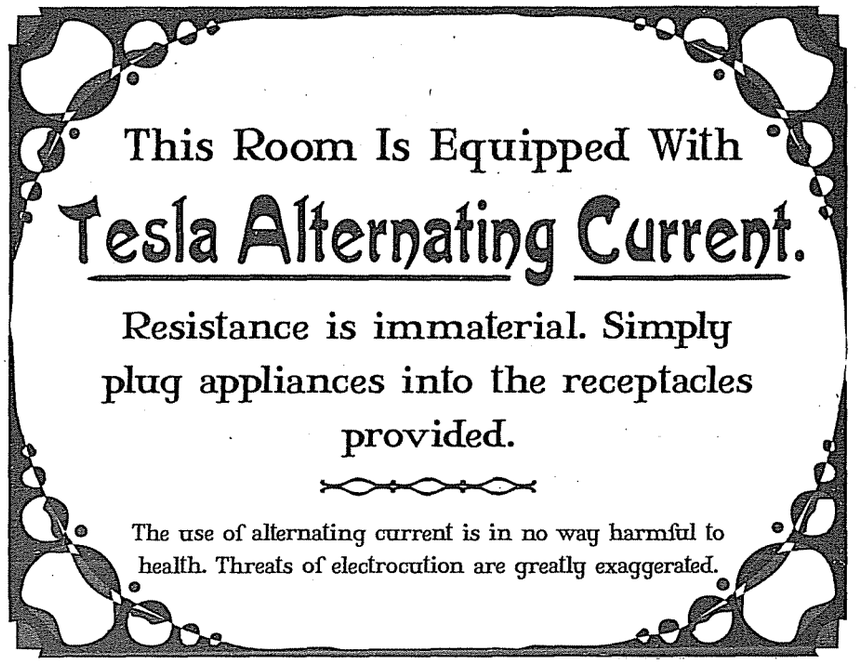
Tesla'nın alternatif akım konusundaki çalışmaları Amerikalı sanayici George Westinghouse'un (1846 – 1914) (Şekil – 13.137) ilgisini çekti ve onunla işbirliğine giderek 1895'de Amerika'da ilk hidroelektrik santralini Niagara Şelalesi'nde kurdu. (Başlangıçta Jonval türbinlerinin kullanılması düşünüldü ise de daha sonra 1895'de her biri 5.500 BG gücünde iki tane Fourneyron türbini konuldu. (Şekil – 13.140, 13.141 ve 13.142). Bunun ardından Niagara Şelalesi'nin hem Kanada ve hem de Amerika tarafında varlıklarını günümüze kadar sürdüren çok sayıda hidroelektrik santrali kuruldu. Alternatif akımın iletim ve dağıtım kolaylığı kısa sürede Edison'un doğru akıma dayanan sistemini devre dışı bıraktı.



Şekil – 13.136: Nikola Tesla. (1856 – 1943).

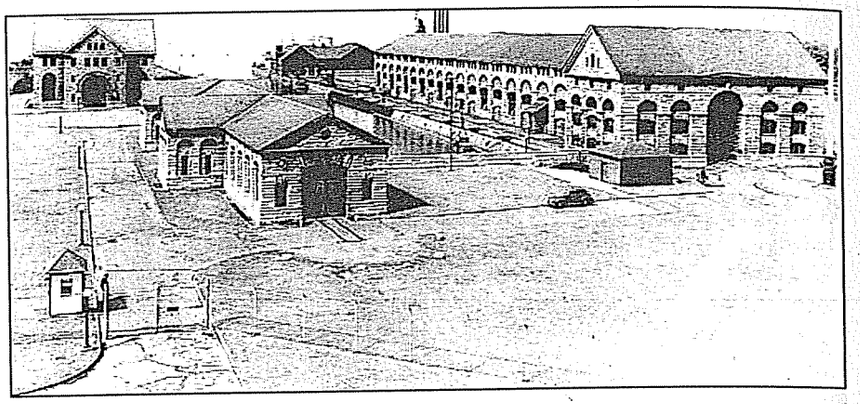


Şekil – 13.137: George Westinghouse. (1846 – 1914).

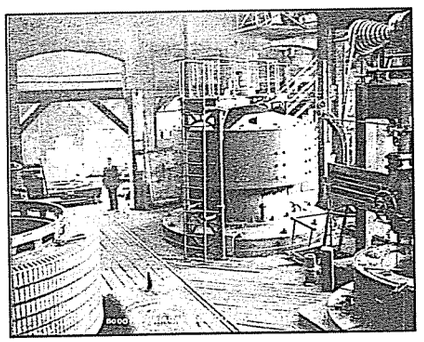


Şekil – 13.138: Nikola Tesla'nın alternatif akımın tehlikeli olmadığına ilişkin bir ilânı.

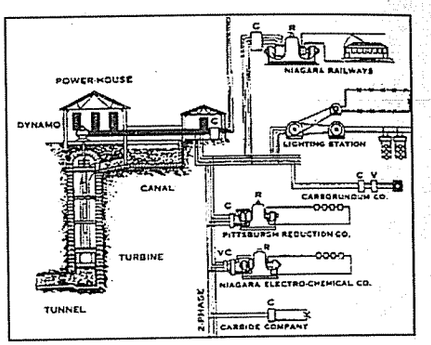
Şekil – 13.139: Elektrik mühendisliği alanındaki buluşları ile dünyayı değiştiren Nikola Tesla 1943'de bir otel odasında tek başına öldü.



Şekil – 13.140: The Niagara Falls Power Company'nin binaları. (1895).

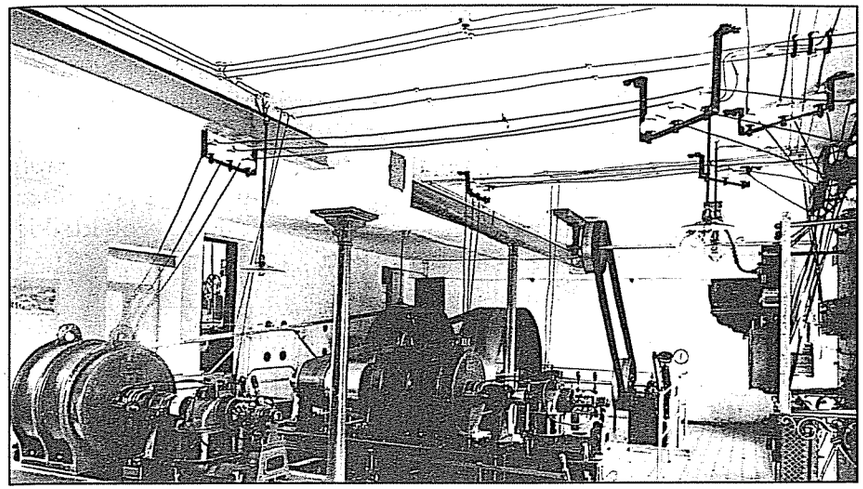


Şekil – 13.141: The Niagara Falls Power Co.'nin alternatörlerinden biri.

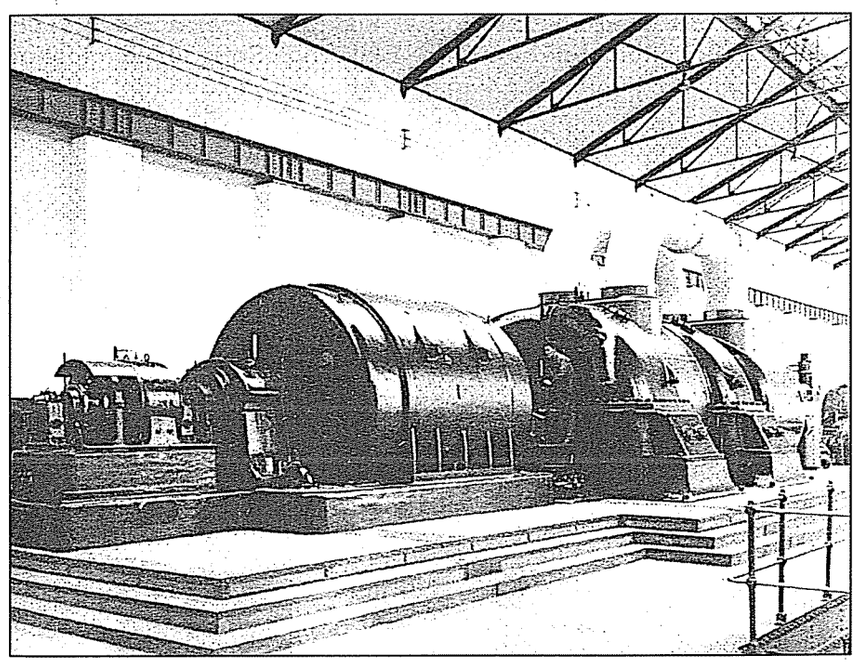


Şekil – 13.142: The Niagara Falls Power Co.'nin üretim ve dağıtım şeması.

İngiliz Charles Algernon Parsons elektrik endüstrisindeki dinamolor için pistonlu buhar makineleri yerine yüksek hızlı dönüş sağlayan bir makine yapmak için yola çıkarak buhar türbinini geliştirdi. İlk türboalternatör 1888'de Forth Banks Power Station'a kuruldu. Dakikada 4.800 devir yapan bu alternatörün gücü 75 kW idi. Daha sonra 1900'de Almanya'da Eberfeld'de her biri 1.000 kW gücünde iki tane türboalternatör kuruldu. Günümüzde de tüm termik ve nükleer santrallerde temel sistem yüksek basınçlı buhar elde ederek bununla bir buhar türbinini çevirmek ve buna bağlı alternatörden elektrik akımı elde etmektir.



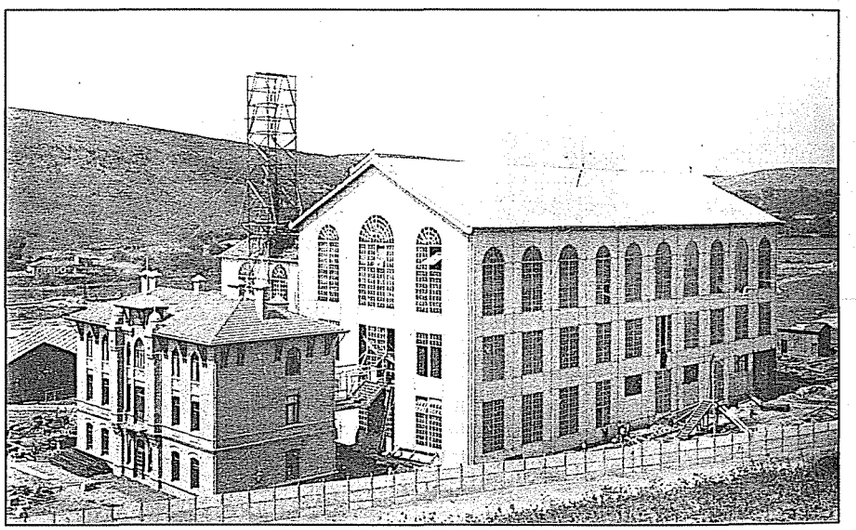
Şekil – 13.143: Siemens & Halske firması tarafından Almanya'da kurulan ilk hidroelektrik santrali. (1892).



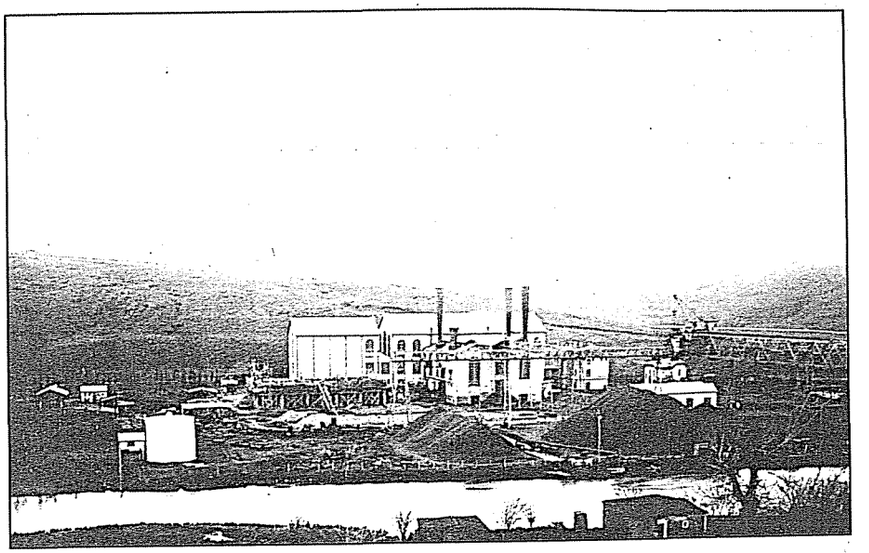
Şekil – 13.144: Macar Ganz firması tarafından kurulmuş olan buhar türbinli bir türbojeneratör. (1930'lar). [Gyula, s. 23].

Silâhdarağa Elektrik Santrali

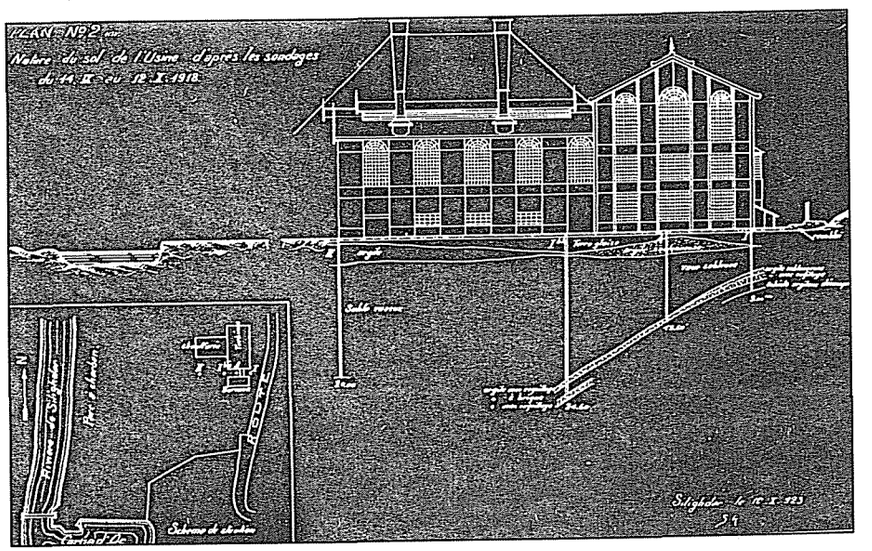
Osmanlı İmpaaratorluğu'ndaki ilk elektrik santrali 1902'de Tarsus Belediyesi tarafından kurulmuş olan küçük bir hidroelektrik santraldir. Bunun ardından 1905'de İzmir ve Selânik'de, 1907'de Şam'da ve 1908'de Beyrut'da küçük çaplı elektrik üretim tesisleri kurulmuştur. İstanbul'da da bazı küçük yerler jeneratörlerle elde edilen elektrikle aydınlatılmıştır. Macar Ganz şirketi tarafından kurulan Osmanlı Anonim Elektrik Şirketi'ne verilen imtiyaz ile Silâhdarağa Elektrik Santrali'nin inşaatına 1 Kasım 1910'da başlanmış ve 1914 başında tamamlanmıştır. Bunun ardından 11 Şubat 1914'de tramvay şebekesine ve 14 Şubat 1914'de de Beyazıt, Tozkoparan ve İstinye trafolarına elektrik verilmiştir. Kısa bir süre sonra şirketin sermayesi bir Belçika – Alman grubunun eline geçmiştir. Santral 1937'de millileştirilmiş ve 1983'de kapatılmıştır. Silâhdarağa Elektrik Santrali kömürle çalışan bir termoelektrik santral olup kuruluşunda üç türbojeneratör grubu ile altı buhar kazanı içeriyordu ve 13.400 kW gücündeydi. Silâhdarağa Elektrik Santrali'ne ilişkin görüntüler (Şekil – 13.145, 13.146, 13.147 ve 13.148)'de verilmiştir.



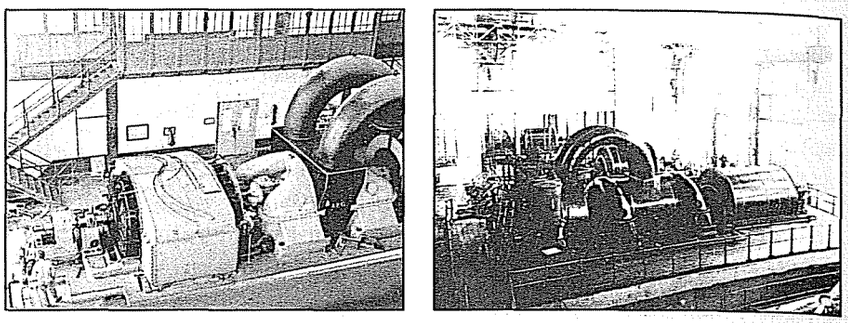
Şekil – 13.145: Silâhtarağa Elektrik Santrali'nin ilk binaları. [Aksoy, s. 80].



Şekil – 13.146: Silâhtarağa Elektrik Santrali'nin 1920'li yıllarda genel görünümü.



Şekil – 13.147: Silâhtarağa Elektrik Santrali'nin 1918'de Karl Terzaghi tarafından yapılmış olan zemin etdü. [Aksoy, s. 97].

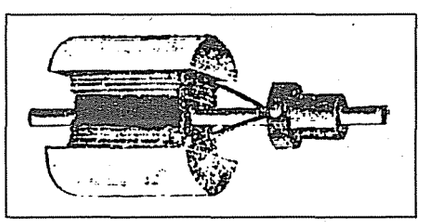


Şekil – 13.148: Silâhtarağa Elektrik Santrali'ndeki Ganz marka türboalternatörler. Bunlar 1931'de AEG marka olanları ile değiştirilerek yenilenmiştir. [Aksoy, s. 8].

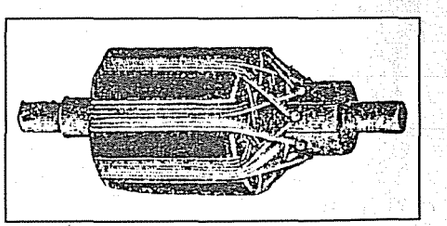
ELEKTRİK MOTORLARI

Doğru akım motorları

Elektrik motorları elektrik enerjisini mekanik enerjiye çeviren araçlardır. Yapılışlarındaki temel ilke elektromagnetik kuvvetlerle sürekli bir dönüş hareketinin elde edilmesidir. Bunun için her motorda (1) magnetik alan oluşturan bir sabit veya elektromıknatıs ile (2) bu magnetik alanın içinde sürekli olarak dönen bir iletken sistem bulunur. Magnetik alan içinde dönen iletken sistemi oluşturan sarımların biçimlerine göre farklı türde elektrik motorları vardır. Motorlar genellikle sarımın biçimine veya onu ortaya koyan kişinin adına göre adlandırılırlar. (Şekil – 13.149 ve 13.150).



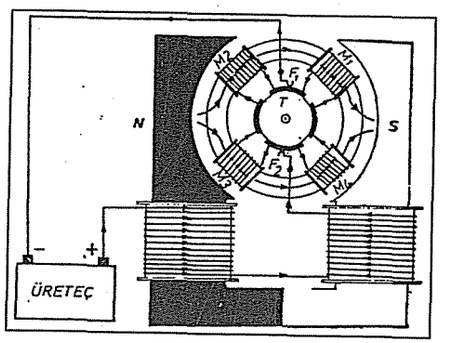
Şekil – 13.149: Werner von Siemens'in sargısı.



Şekil – 13.150: Davul (drum) biçiminde sargı.

Gramme sargılı bir motorda magnetik alanı oluşturan sabit bir elektromıknatıs ile bunun kolları arasında dönen yumuşak demirden yapılmış ve içi boş silindir biçiminde olan

bir çekirdek vardır. (Şekil – 13.151). Çekirdek üzerinde aynı yönde sarılmış ve eşit sarım içeren M_1, M_2, M_3 ve M_4 bobinleri bulunur. Yalıtkan bir silindir üzerine yapıştırılmış bakır şeritlerden oluşmuş toplaç (T) ve bu bakır şeritlere değen fırçalar (F_1 ve F_2) akımın iletilmesini sağlar. Elektromıknatıstan çıkan kuvvet çizgileri ikiye bölünerek çekirdekten geçer. F_2 fırçasından gelen akım iki kola ayrılarak (I/2) bobinlerden geçer ve F_1 fırçasından çıkar. Bu sırada bobinler güney yüzlerinden giren magnetik akının artmasını sağlayacak yönde dönerler.



Şekil – 13.151: Gramme sargılı bir doğru akım motorunun şeması.

Alternatif akım motorları

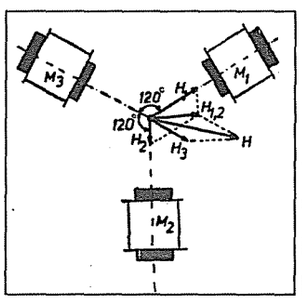
1) Toplaçlı motorlar: Doğru akımla çalışan ve elektromıknatısı seri olarak beslenen bir motor (örneğin Gramme sargılı) alternatif akımla da çalışabilir. Alternatif akımın yön değiştirmesi hem elektromıknatıs bobinlerinde ve hemde bunun magnetik alanı içinde dönen rotorun bobinlerinde aynı anda olduğundan motorun dönme yönü değişmez. Ancak bu durumda özindüksiyon akımlarından dolayı kıvılcımlar ortaya çıkar ve fırçalar kısa sürede aşınır.

2) Senkron motorlar: Bu tür motorlarda motorun indükleyeninden yani rotorundan doğru akım ve indükleneninden yani statorundan alternatif akım geçirilir. Akım verildiğinde indüklenenin bobinlerinde ardı ardına dizilmiş N ve S kutupları oluşur. Bunlar indükleyenin N ve S kutuplarını iterler ve bir dönme hareketi oluşur. Senkron motorların çalışmaya başlaması için bir ilk hareket verilmesi gereklidir. Verilen ilk harekete göre her iki yönde de dönerler. Hızları

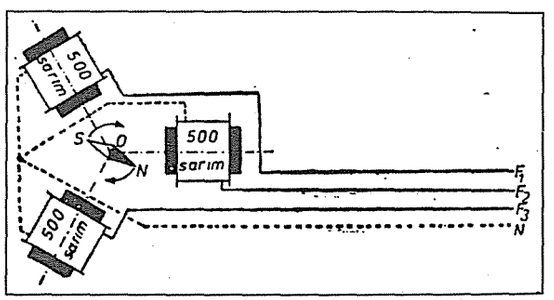
alternatif akımın frekansına bağlıdır ve sabit bir yük altında çalışırlar. Yük arttırılırsa yavaşlayarak dururlar. Bu tür motorlar yaygın olarak kullanılmazlar.

3) Döner alanlı asenkron motorlar: Nikola Tesla üç fazlı bir alternatif akım ile döner bir magnetik alan oluşturulabileceğini buldu ve buna dayanarak 1888'de asenkron motoru geliştirdi. Daha sonra bu motorun patentini George Westinghouse'a sattı. Bu tür motorlar basit, sağlam ve ucuz olmaları, kendi kendine çalışmaya başlamaları, verimlerinin yüksek olması, hız değişimlerinden etkilenmemeleri, toplaç ve fırça gibi sürtünen bölümlerinin bulunmaması gibi nedenlerle Gramme motorundan daha üstün olduklarından kısa sürede yaygınlaştılar.

Eksenleri arasında 120° lik açılar bulunan demir çekirdekli M_1, M_2 ve M_3 bobinlerinin her birinden üç fazlı bir alternatif akımın fazlarından biri geçirildiğinde bobinlerden geçen alternatif akımların O noktasında oluşturdukları alternatif magnetik alanlar H_1, H_2 ve H_3 ise bunların bileşkesi $H = 3/2\ H_m$ olur ve alternatif akımınkine eşit bir frekansla döner. (Şekil – 13.152 ve 13.153).



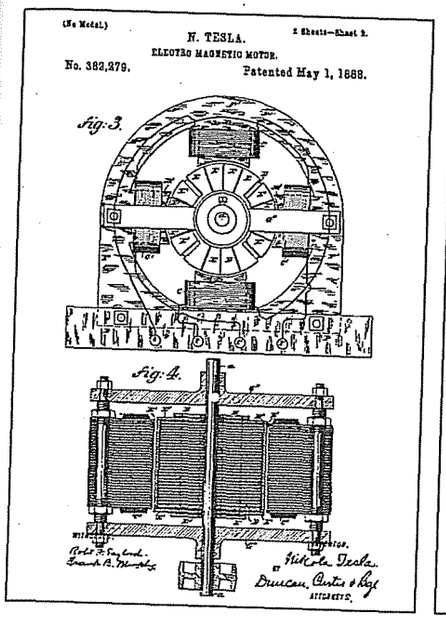
Şekil – 13.152: Üç fazlı alternatif akımla döner magnetik alan elde edilmesi.



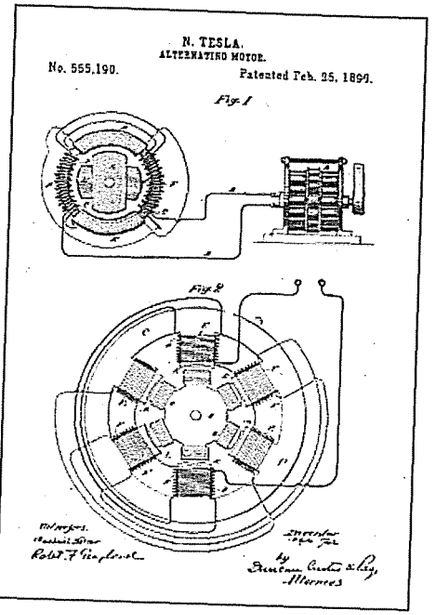
Şekil – 13.153: Üç fazlı alternatif akımla döner magnetik alan elde edilmesi deneyi. Ortadaki pusula sürekli olarak döner.

Döner magnetik alanın merkezine dik konumda bir sarım konulacak olursa alan döndüğü için bu kapalı devreden geçen magnetik akı değişeceğinden devrede bir indüksiyon akımı oluşur. Bu akım Lenz yasasına göre kendini oluşturan nedene

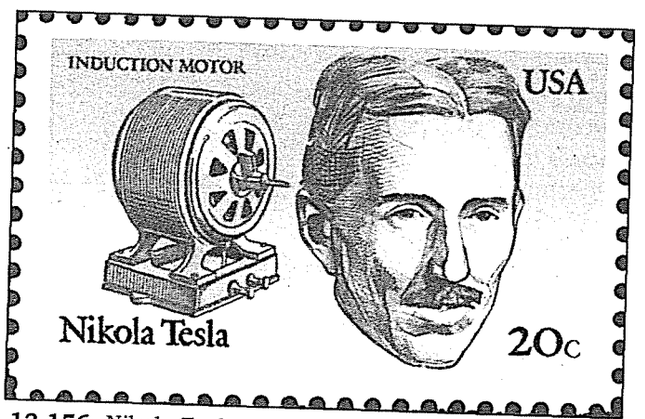
karşıt yönde olacağından alan döndüğünde sarım da birlikte döner. (Şekil – 13.154, 12.155, 13.156, 13.157 ve 13.158).



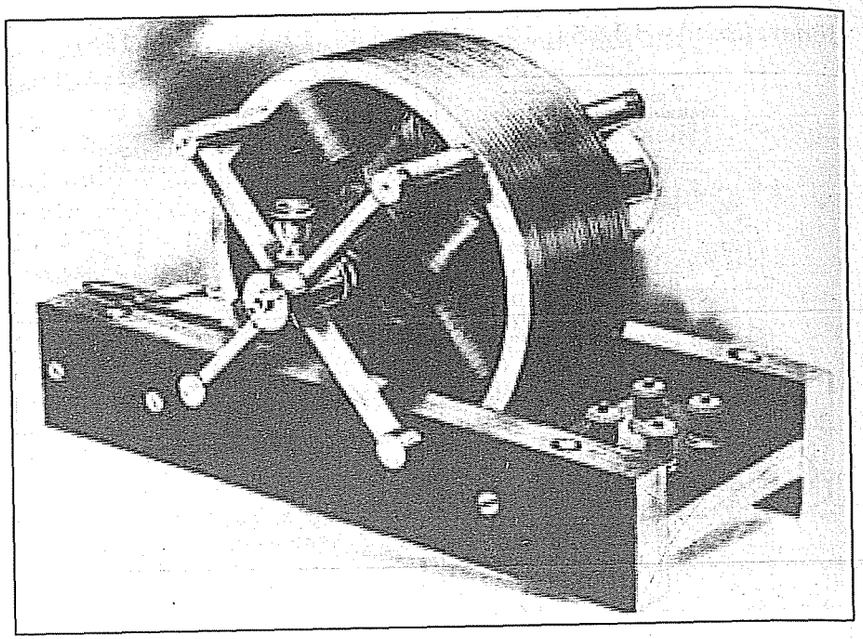
Şekil – 13.154: Nikola Tesla'nın döner magnetik alanlı motor için ilk olarak aldığı 1 Mayıs 1888 tarih ve USP 382.279 numaralı patentteki resim.



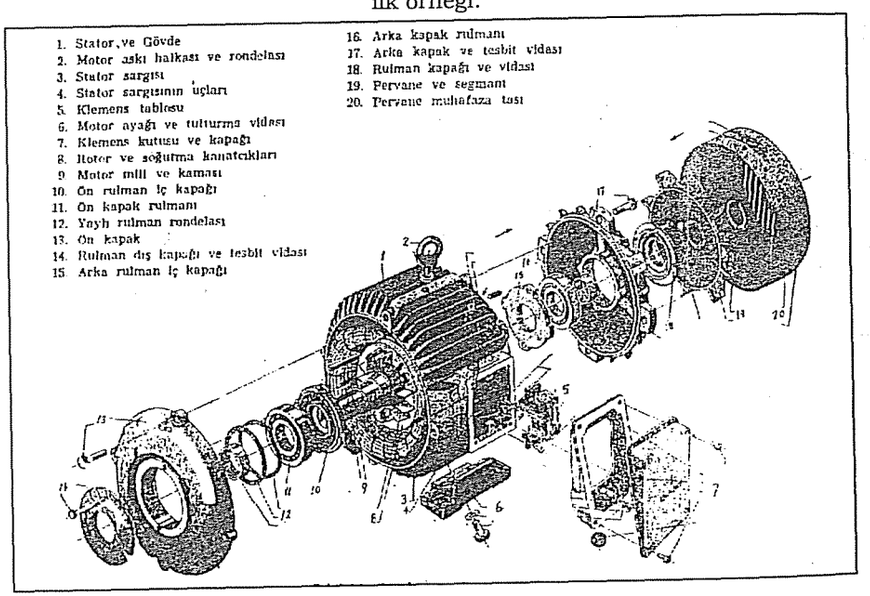
Şekil – 13.155: Nikola Tesla'nın döner magnetik alanlı motor için ikinci olarak aldığı 26 Şubat 1890 tarih ve USP 565.190 numaralı patentteki resim.



Şekil – 13.156: Nikola Tesla ve asenkron motoru için Amerika Birleşik Devletleri'nde çıkartılmaş posta pulu.



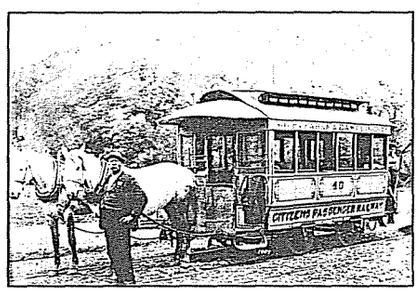
Şekil – 13.157: Nikola Tesla'nın döner magnetik alanlı asenkron motorunun ilk örneği.



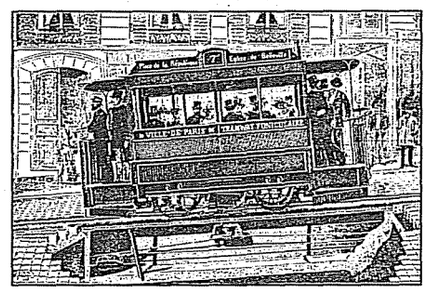
Şekil – 13.158: Modern bir asenkron motorun kısımları.

ELEKTRİKLİ TRAMVAY VE LOKOMOTİF

Tramvay raylar üzerinde çalışan bir kent içi taşıma aracıdır. İlk kez 1832'de New York'da kullanılmaya başlanmış ve hızla yaygınlaşmıştır. Başlangıçta tramvay arabaları atlarla çekilmekte ve arabaların döndürülmesi söz konusu olmadığından hattın sonuna gelindiğinde atlar arabanın önünden çözülüp arka tarafına bağlanmaktaydı. (Şekil – 13.159). Arabaların yürütülmesi konusunda çeşitli yollar denenmiştir. Bunlardan biri de arabaların yeraltında bulunan bir kablo ile çekilmesidir. (Şekil – 13.160).

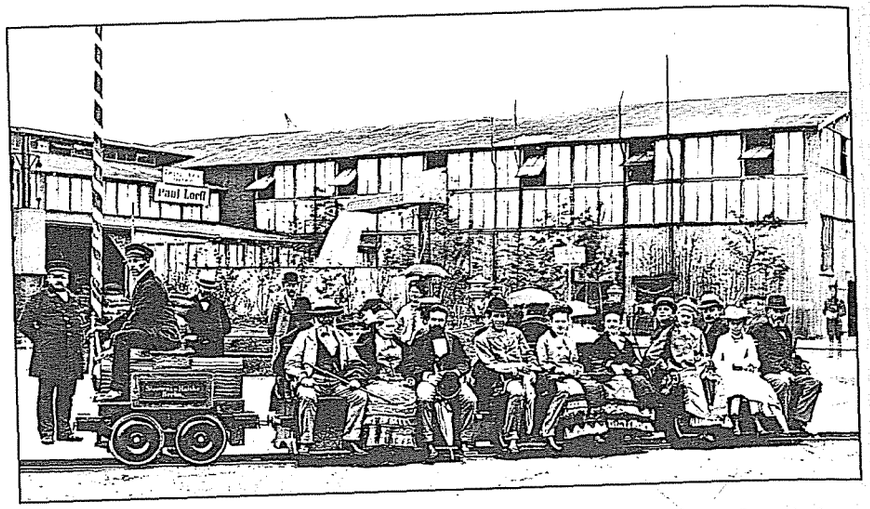


Şekil – 13.159: Bir atlı tramvay. Arabanın her iki ucu da aynı olup sürücü açıkta durmaktadır.

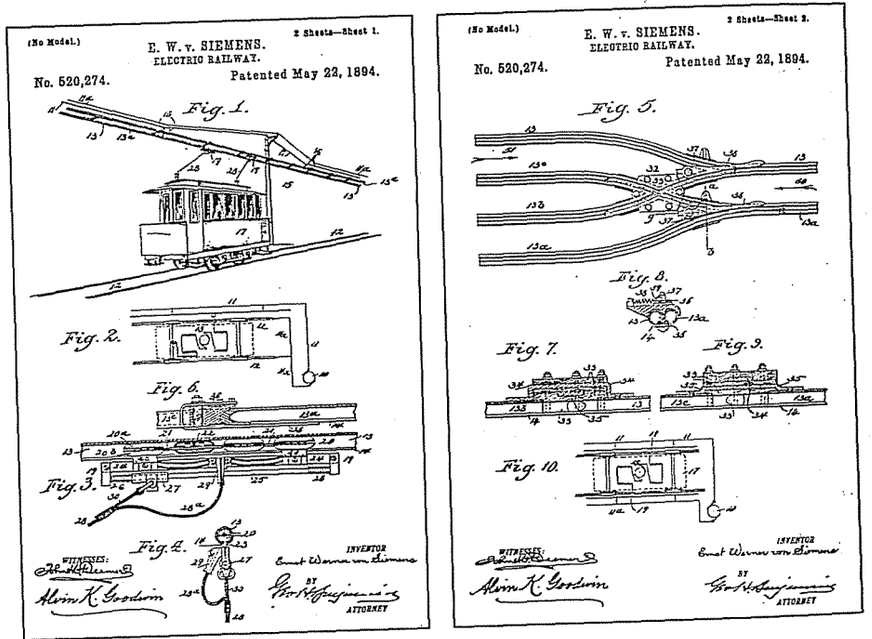


Şekil – 13.160: Paris'de ilk kablolu tramvaylardan biri. (1891). [Kirby, s. 394].

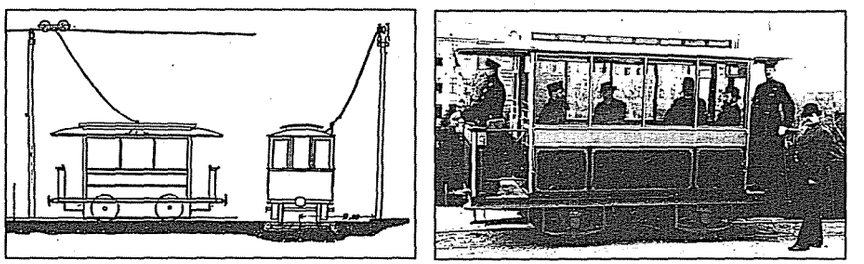
Werner von Siemens kendi ürettiği doğru akım motorunu kullanarak küçük bir elektrikli lokomotif yaptı ve bunu 1879'da Berlin Ticaret Fuarı'nda sergiledi. Ray uzunluğu 300 m ve ray genişliği 1 m olan bu demiryolu üzerinde lokomotif her biri altı kişi taşiyan üç küçük yolcu vagonunu saatte 12 km hızla çekiyordu. (Şekil – 13.161). Dört ay içinde bu trene 80.000 kişi bindi. Lokomotif 150 V akımla çalışıyor ve akımı üçüncü bir raydan alıyordu. Ancak bu yöntem gerek üçüncü bir rayın maliyeti ve gerekse açıkta bulunan bir iletken üzerindeki elektrik akımının yarattığı tehlike nedeniyle uygun değildi. Siemens daha sonra iletken teli havaya alarak bu sakıncayı ortadan kaldırdı ve gerçek elektrikli tramvay ortaya çıktı. 1881'de Berlin'de 2,5 km lik bir tramvay hattı döşendi. Bundan sonra tramvay hızla yayılmaya başladı. Siemens tramvayını *electric railway* adı altında 1894'de Amerika'da da tescil ettirdi. (Şekil – 13.162 ve 13.163).



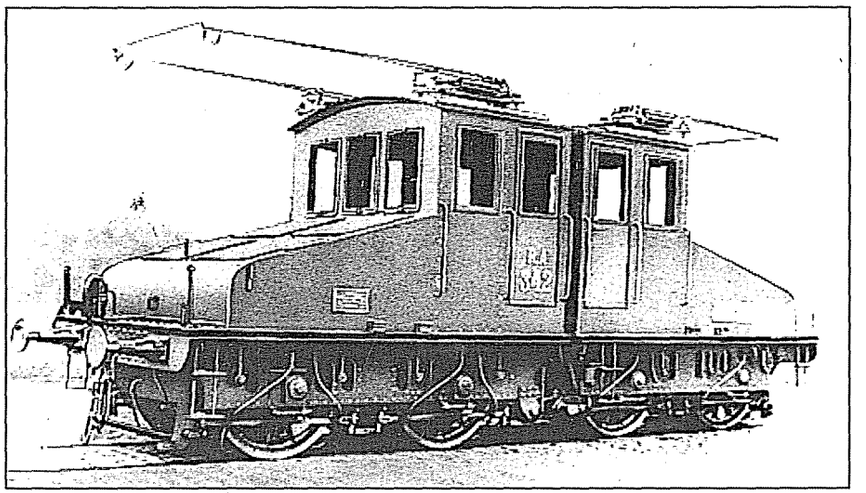
Şekil – 13.161: Werner von Siemens'in 1879'da Berlin Ticaret Fuarı'nda gösterisini yaptığı üç vagonlu minyatür elektrikli treni.



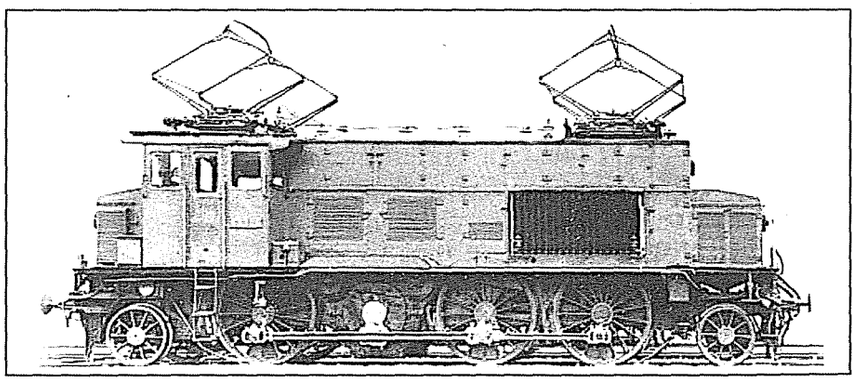
Şekil – 13.162: Werner von Siemens'in tramvay için "Electric railway" [Elektrikli demiryolu] adı altında Amerika'da almış olduğu 22 Mayıs 1894 tarih ve USP 520.274 sayılı patentteki resimler.



Şekil – 13.163: Siemens'in Berlin yakınındaki Lichterfelde'de çalıştırdığı ilk elektrikli tramvay. [Kirby, s. 395].



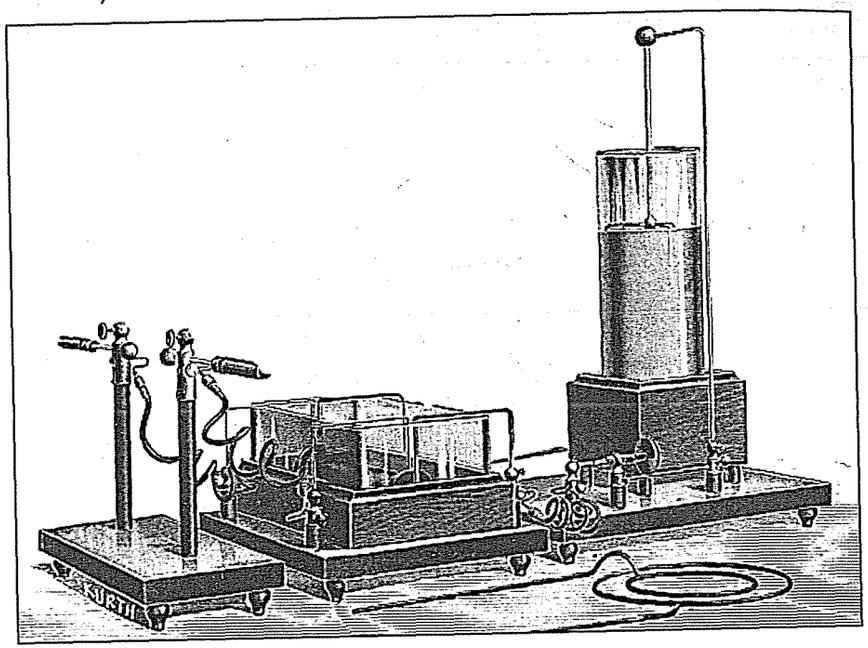
Şekil – 13.164: Macar Ganz şirketinin elektrikli demiryolu lokomotifi. (1901). [Gyula, s. 27].



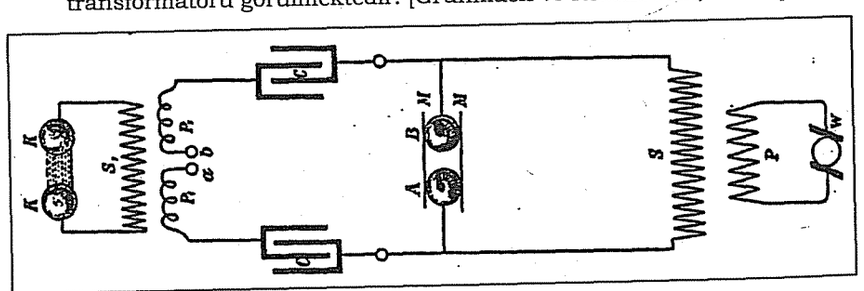
Şekil – 13.165: Bir Alman elektrikli demiryolu lokomotifi. (1920'ler).

YÜKSEK FREKANSLI AKIMLAR

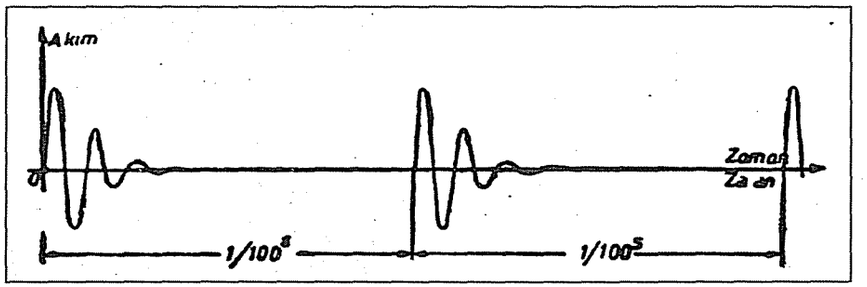
Yüksek frekanslı akımlar konusunda çalışan Nikola Tesla 1891'de *Tesla bobini* olarak anılan hava çekirdekli yüksek frekans transformatörünü geliştirdi. Tesla'nın esas amacı elektrik akımını iletken bir tel kullanmadan bir noktadan başka bir noktaya iletmekti. (Şekil – 13.166, 13.167 ve 13.168).



Şekil – 13.166: Tesla'nın yüksek frekanslı akımlar elde etmek için kullandığı deney düzeneği. Sağda Leyden şişesi ve ortada Tesla transformatörü görülmektedir. [Grunmach ve Rosenboom, s. 600].



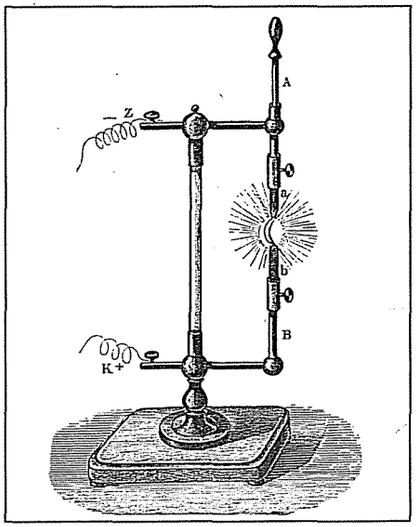
Şekil – 13.167: Tesla'nın yüksek frekanslı akımlar elde etmek için kullandığı deney düzeneğinin şeması. [Grunmach ve Rosenboom, s. 599].



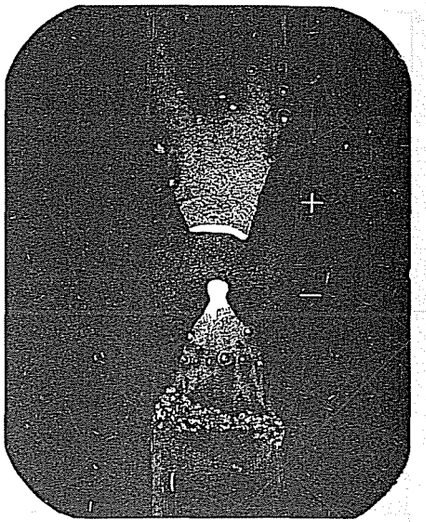
Şekil – 13.168: Yüksek frekanslı akımların grafiği.

ELEKTRİKLE AYDINLATMA

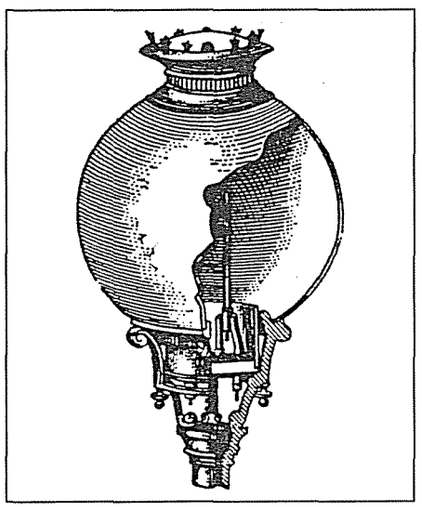
Elektrikle aydınlatmanın temel ilkeleri XIX. yüzyılın başlarında ortaya konulmuştur. Humphry Davy 1802'de iki karbon elektrot arasındaki elektrik kıvılcımının parlak bir ışık verdiğini belirtmiştir. Filamentli ampulün temel ilkesi olan bir iletkenden elektrik akımı geçmesi durumunda iletkenin ısınması ve yüksek sıcaklığa kadar ısındığında da ışıma yapması biliniyordu. Ancak bu buluşlar XIX. yüzyılın son çeyreğine kadar uygulama alanına girememiştir. Bunun başlıca nedenlerinden biri gerekli elektriği üretecek dinamoların gelişmemiş olmasıdır. Elektrikle aydınlatmanın ilk biçimi ark lâmbasıdır. Bunlar çok şiddetli ışık verdiklerinden küçük mekânlar için uygun olmayıp ancan geniş ve büyük alanların aydınlatılmasında ve deniz fenerlerinde kullanılmıştır. Bir ark lâmbası doğru akım ile çalışıyorsa pozitif elektrodun ucu ve eğer alternatif akımla çalışıyorsa her iki elektrodun ucu aşınır. (Şekil – 13.169 ve 13.170). Oysa düzgün bir ışık elde edebilmek için elektrotların arasının sabit olması gerekir. Elektrotların arası belirli zaman aralıkları ile elle ayarlanabildiği gibi bunu otomatik olarak ayarlayan çok sayıda sistem de geliştirilmiştir. (Şekil – 13.171, 13.172 ve 13.173). Alternatif akım ile çalışan ark lâmbaları doğru akımla çalışanlara göre çok daha geniş bir ışık dağılımı gösterirler. (Şekil – 13.174, 13.175 ve 13.176). Elektrik arkı aydınlatma amacıyla kullanıldığı gibi elektriğin bol miktarda elde edilmeye başlanmasıyla birlikte metalurjide kullanılan ark tipi elektrik fırınları da yapılmaya başlanmıştır.



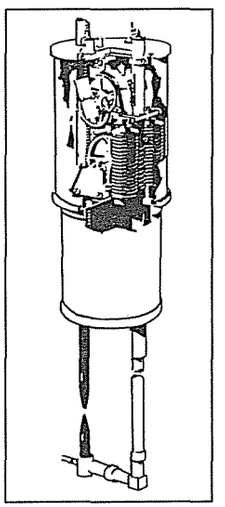
Şekil – 13.169: Elektrik arkı. [Grunmach ve Rosenboom, s. 565].



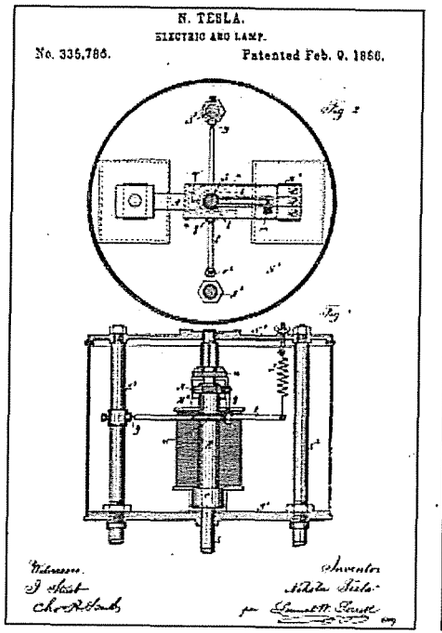
Şekil – 13.170: Bir ark lâmbasında pozitif elektrodun ucunun aşınması. [Grunmach ve Rosenboom, s. 565].



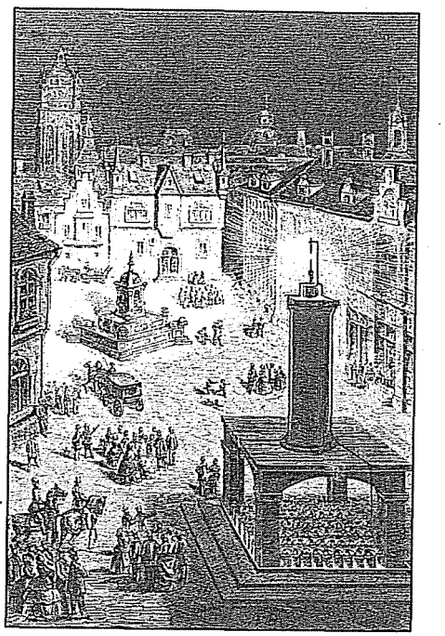
Şekil – 13.171: Rus telgraf mühendisi Paul Jablochkoff'un ark lâmbası. (1876). [Derry ve Williams, s. 631].



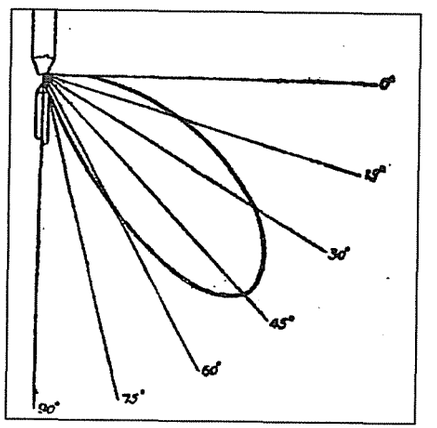
Şekil – 13.172: Compton'un ark lâmbasının mekanizması. (1878). [Bowers, s. 364].



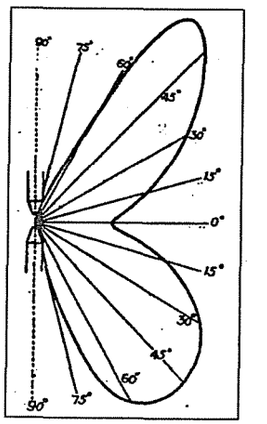
Şekil – 13.173: Nikola Tesla'nın ayarlanabilir ark lâmbasının patent resmi. (1886).



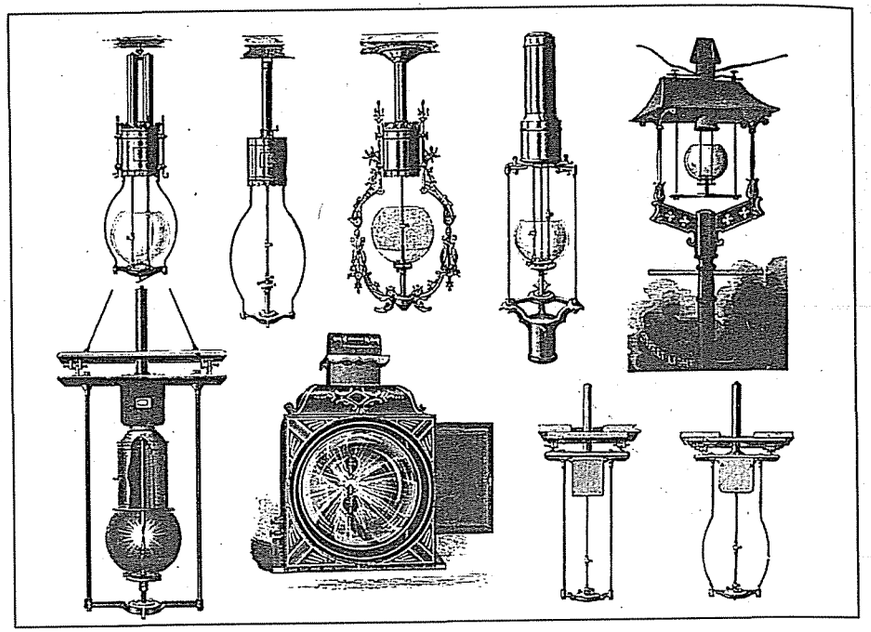
Şekil – 13.174: Bir Pazar yerinin elektrik arkı ile aydınlatılması. [Teichmann (1998), s. 24].



Şekil – 13.175: Doğru akımla çalışan bir arkın verdiği ışığın dağılımı.

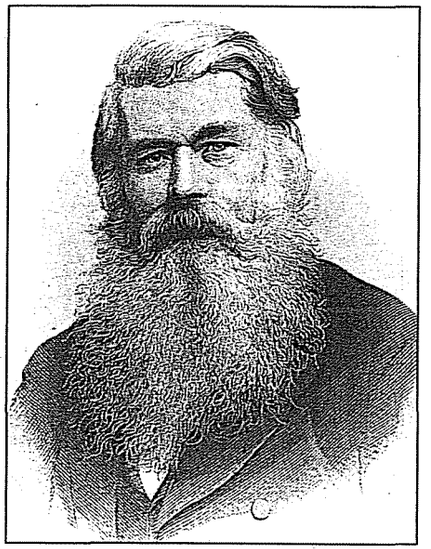


Şekil – 13.176: Alternatif akımla çalışan bir arkın verdiği ışığın dağılımı.

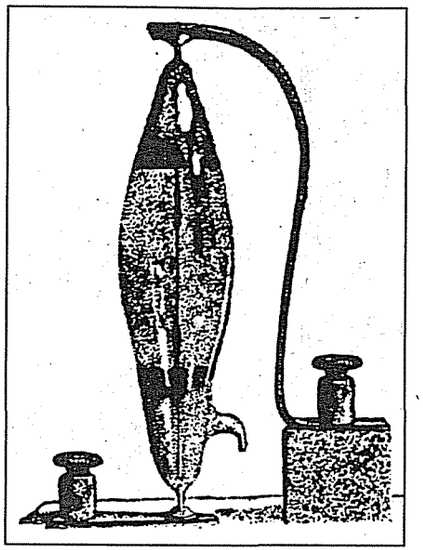


Şekil – 13.177: Küçük boy çeşitli ark lâmbaları.

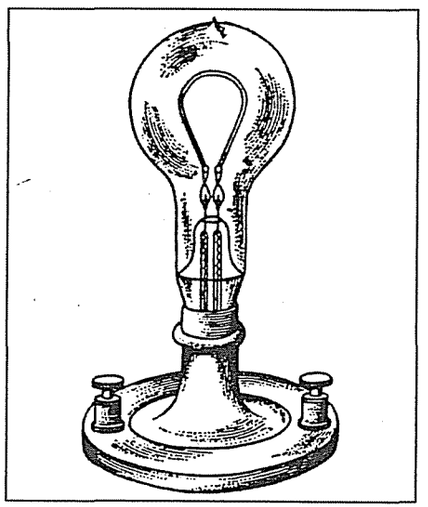
İçinden elektrik akımı geçen ince bir filamentin ısınarak ışıma yapmasına dayanan elektrik ampulü konusunda Amerika'da Thomas Alva Edison ve İngiltere'de de kimyacı Joseph Wilson Swan (1828 – 1914) (Şekil – 13.178) tarafından eşzamanlı çalışmalar yapıldı. Swan 1878'de ilk ampulünü yaptı ve 1881'de Avam Kamarası elektrik ile aydınlatıldı, (Şekil – 13.179). Her ikisi de filament olarak karbon kullanıyorlardı. Edison önceleri pamuk ipliği ve daha sonraları bambu lifleri kullandı. (Şekil – 13.180, 13.181 ve 13.182). Edison ve Swan 1883'de ortak olarak "Edison & Swan United Electric Light Co. Ltd." adı altında bir şirket kurdular ve kısa sürede İngiltere'de tekel oldular. Karbon filamentler sarsıntıya karşı fazla dayanıklı olmadığından özellikle savaş gemileri için metal filamentli ampul yapımı gündeme geldi. Gaz lâmbaları için metal oksitlerden bir gaz mantosu da yapmış olan Alman kimyacı Carl Auer von Welsbach (1858 – 1929) (Şekil – 13.183) erime noktası yüksek osmiyum ve tantalın ardından 3410 °C de eriyen tungteni kullandı.



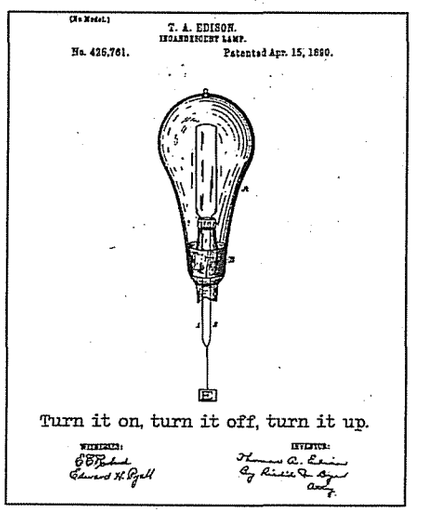
Şekil – 13.178: Joseph Wilson Swan. (1828 – 1914).



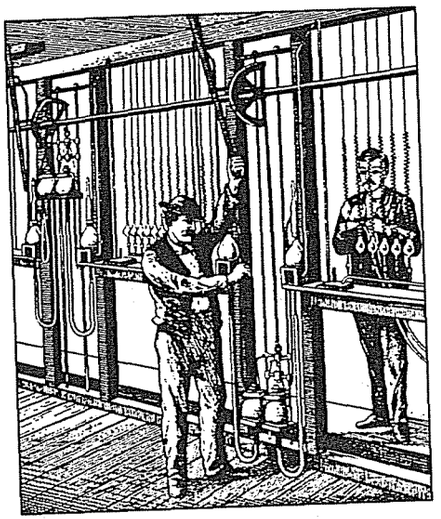
Şekil – 13.179: Swan'ın karbon filamentli deneysel ampulü. (1878). [Derry ve Williams, s. 633].



Şekil – 13.180: Edison'un karbon filamentli ampulü. (1881). [Derry ve Williams, s. 633].

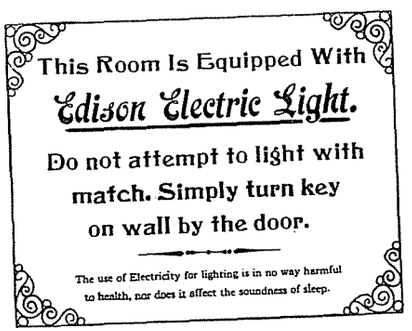


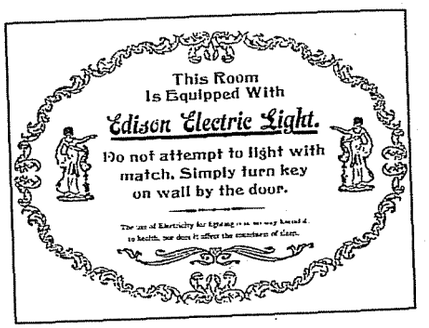
Şekil – 13.181: Edison'un 15 Nisan 1890 tarih ve USP 426.761 numaralı ampul patentindeki patent resmi.



Şekil – 13.182: Elektrik ampullerinin filamentlerinin oksitlenmesini önlemek için içlerindeki havanın cıvalı vakum pompası yardımıyla boşaltılması. (1883). [Bernal, II, s. 615].

Şekil – 13.183: Carl Auer von Welsbach. (1858 – 1929).





Şekil – 13.184: Edison'un kendi elektrik şebekesi ve ampullerini tanıtan slogan ve ilânları.

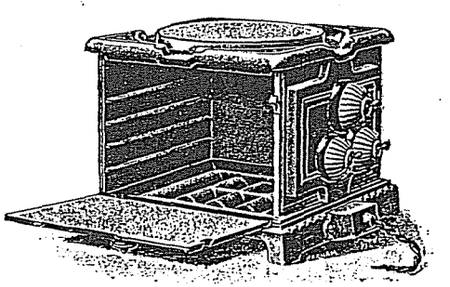
Elektrik ampulleri konusunda ilginç ilânlar da çıkmaktadır. Noel ağaçlarının aydınlatılması için Edison'un minyatür ampulleri konusunda General Electric Co. tarafından verilen bir ilânda ampullerin tehlikesinin, duman ve kokusunun olmadığı ve satın alınabilecekleri gibi

kiralanabilecekleri de belirtilmektedir. Ayrıca bunların sadece elektrikle aydınlatılan yani elektrik tesisatı olan evlerde kullanılabileceği de hatırlatılmaktadır. (Şekil – 13.185).

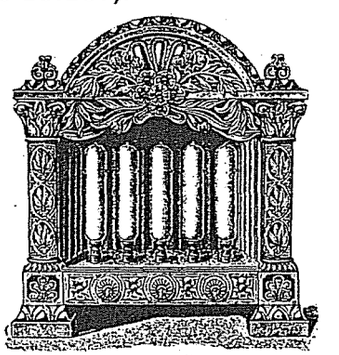
Şekil – 13.185: General Electric şirketi tarafından Noel ağacı eampulleri için verilmiş bir ilân.

SONUÇ

Elektrik üretim ve dağıtımının yaygınlaşması sonucunda elektrik enerjisi sanayide ve ulaşımda birinci sıraya yerleşirken evsel kullanımda da aydınlatma yanında hızla ev ve mutfak aletlerini gündeme getirdi. Öncelikli ev aletleri ütü ve ısıtıcılar, öncelikli mutfak aletleri de elektrikli fırınlar ve daha sonra da soğutucular oldu. (Şekil – 13.186 ve 13.187).

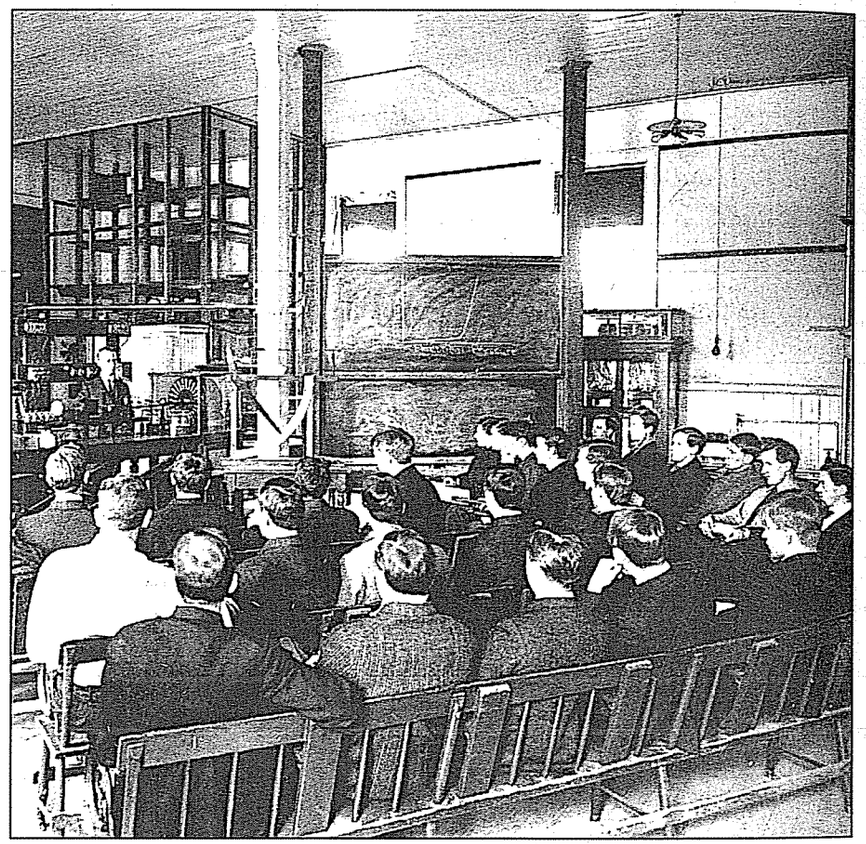


Şekil – 13.186: Bir elektrikli mutfak fırını.

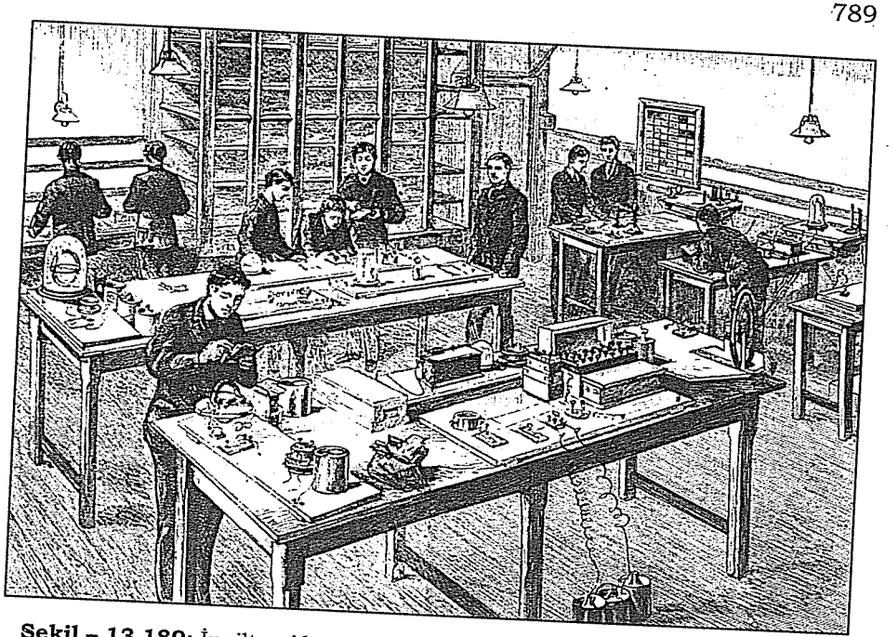


Şekil – 13.187: General Electric marka bir elektrikli radyatör.

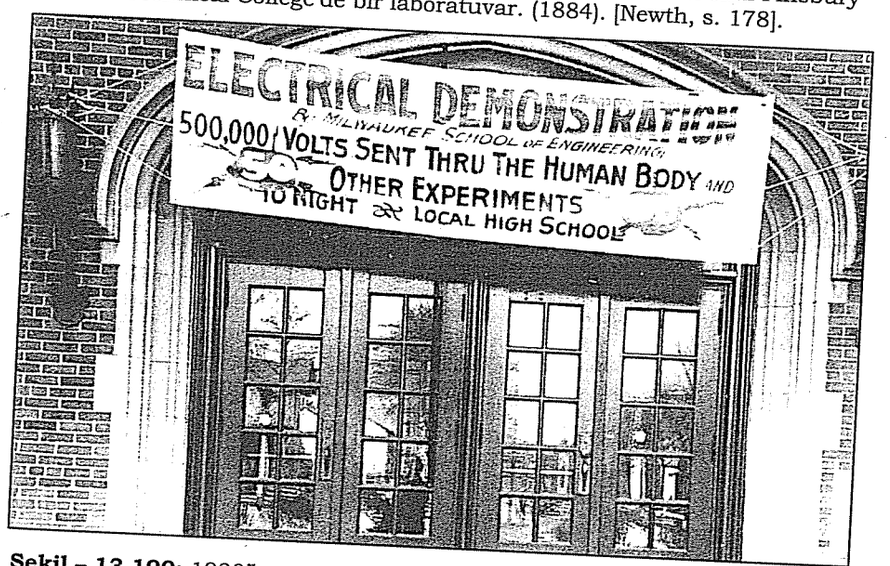
Telgrafın gelişip yaygınlaşması ile birlikte XIX. yüzyılın ortalarından itibaren *telgraf mühendisliği* bir mühendislik dalı olarak ortaya çıktı. 1871'de bir dernek kuran telgraf mühendisleri daha sonra bu derneğin adını Elektrik Mühendisleri Birliği'ne çavirdiler ve böylece telgraf mühendisleri ilk elektrik mühendislerini oluşturdular. Bu gelişmelere paralel olarak telgraf ve elektrik mühendisliği öğretimi de yavaş yavaş mühendislik öğretimi içinde yerini almaya başladı. (Şekil – 13.188, 13.189 ve 13.190).



Şekil – 13.188: Cornel Üniversitesi'nde elektrik mühendisliğinin öncüsü olan Prof. Henry J. Ryan dönemin ders anlatım anlayışına göre deneysel olarak ders anlatırken. Yanında bir güvenlik kafesi görülmektedir. [Grayson, s. 81].



Şekil – 13.189: İngiltere'de teknik okulların ilklerinden biri olan Finsbury Technical College'de bir laboratuvar. (1884). [Newth, s. 178].



Şekil – 13.190: 1930'ların ortasında elektrik halen en ilgi çekici konulardan biridir. Amerika'da Milwaukee School of Engineering tarafından "Wonders of Electricity" [Elektriğin Harikaları] programı çerçevesinde yerel bir lisede yapılacak deneylerin ilânı. [Grayson, s. 158].

John Desmond Bernal yaptığı değerlendirmede elektrik alanında 1831'den sonra fiziksel bakımdan yeni hiçbir radikal fikrin ortaya konulmadığını belirterek, XIX. ve XX. yüzyıllardaki elektrik endüstrisinin elektronik alanı dışında giderek "sayıları artan pratik uygulamalara çözüm getirebilmek için sınırlı sayıdaki ilkeleri kullanmak bakımından sadece beceri ve dehaya dayanan tamamen bilimsel bir endüstrinin ideal bir örneği" olduğunu söylemekte ve elektrik alanında bilim ile teknoloji arasındaki ilişki için,.

> "Elektrik ve magnetizmin öyküsü bütünüyle bilimsel karakteie rde bir dizi deney ve teorinin büyük çapta bir endüstriye dönüştürülmesinin tarihte ilk örneğini teşkil eder. Elektrik endüstrisinin bütün aşamalarında bilimsel olması gerekiyordu. Yine de burada bilimsel araştırmanın nasıl bir tek hareketle mühendislik uygulamasına dönüştüğünün en yadsınamaz örneğini buluruz."

değerlendirmesini yapmaktadır.[12]

12 John Desmond Bernal, *Science in History*, 3rd ed., cilt 2, Harmondsworth 1969, s. 616.

KAYNAKLAR

Aksoy, Asu, *Silahtarağa Elektrik Santrali: 1910 – 2004*, 2. baskı, İstanbul Bilgi Üniversitesi Yayınları, İstanbul 2009.

Aldington, J. N., "The evolution of the electric lamp", *Endeavour*, 2, 62 – 67 (1943).

Alsan, N. Fazıl, "Telgrafçılığın tarihi", *Fen ve Teknik*, 2 (11), 14 – 16 (Ocak – Şubat 1941).

"Ampére", *Regards sur le Monde*, No. 37 (18 Juillet 1935).

Andrade, E. N. da C., "The early history of the permanent magnet", *Endeavour*, 17 (65), 22 – 30 (1958).

Berkem, Ali Rıza, "Humphry Davy (1778 – 1829)", *Fen ve Teknik*, 2 (11), 11 – 13 (Ocak – Şubat 1941).

Bernal, John Desmond, *Science in History*, 3rd ed., 4 cilt, Penguin Boks, Harmondsworth 1969.

Bernal, J[ohn] D[esmond], *Modern Çağ Öncesi Fizik*, Çeviren Deniz Yurtören, TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları, Ankara 1995.

Bowers, Brian, "Electricity", *An Encyclopedia of the History of Technology*. Ed. Ian McNeil, Routledge, London 1996, s. 350 – 387.

"Chercheurs, inventeurs précurseurs Français: Télévision", *Regards sur le Monde*, No. 43 (19 Mars 1936).

Day, Lance ve Ian McNeil (Eds), *Biographical Dictionary of the History of Technology*, Routledge, London 1996.

Derry, T. K. ve Trevor I. Williams, *A Short History of Technology – From the Earliest Times to A.D. 1900*, Oxford University Press, Oxford 1979.

Dölen, Emre, *Kimya Tarihinden Kesitler*, Türkiye Kimya Derneği Yayınları, İstanbul 2018.

Dölen, Emre, *Demokritos'dan Fukuşima'ya Atomun Öyküsü*, Türkiye Kimya Derneği Yayınları, İstanbul 2018.

Eraslan, Necdet. *Teknik Elektrik*, 2. baskı, Osman Yalçın Matbaası, İstanbul 1960.

Feldman, Anthony ve Peter Ford, *Bilginler ve Buluşlar Ansiklohpedisi*, Çevirenler Mehmet ve Kezban Akçalı, Milliyet Yayınları, İstanbul 1983.

Figuier, Louis, *Les Grandes Inventions Anciennes et Modernes dans les Sciences, l'Industrie et des Arts*, Librairie de L. Hachette, Paris 1861.

Gilbert, William, *De Magnete*, Çeviren P. Fleury Mottelay, Dover Publications Inc., New York 1958.

Grayson, Lawrence P., *The Making of an Engineer*, John Wiley and Sons, New York 1993.

Grunmach, L. ve E. Rosenboom, *Die Kräfte der Natur und ihre Benutzung*, Verlag von Otto Spamer, Leipzig [t.y.].

Gyula, Sitkei, *A Ganz Gyar A Magyar Elektrotechnika Aranykorabam*, Magyar Elektrotechnikat Muzeum, Budapest 2003.

Harré, Rom, *Büyük Bilimsel Deneyler*, Çeviren Sinan Kılıç, TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları, Ankara 1994.

Henseling, Karl Otto, *Bronze, Eisen, Stahl*, Rowohlt Taschehbuch Verlag, Hamburg 1981.

Herivel, John, "Ampère: Pioneer of electrodynamics", *Endeavour*, 34 (121), 34 –37 (1975).

Kaçar, Mustafa, "Osmanlı telgraf işletmesi", *Çağını Yakalayan Osamnlı*, IRCICA Yayınları, İstanbul 1995, s. 45 – 120.

Kartsev, V.P., *Three Thousand Years of Magnets*, Çeviren Ann Feltham, Mir Publischers, Moscow 1975.

Kirby, Richard Shelton, Sidney Withington, Arthur Burr Darling ve Frederick Gridley Kilgour, *Engineering in History*, Dover Publications Inc., New York 1990.

Leblebici, Duran, "Tranzistorun 25 yılı", *İ.T.Ü. Elektrik Fakültese 1973 – 1974 Konferansları*, İ.T.Ü. Elektrik Fakültesi Yayınları. İstanbul 1975, s. 73 – 82.

"Michael Faraday, 1791 – 1867", *Endeavour*, 26 (99), 114 (1967).

Newth, A. M., *Britain and the World: 1789 – 1901*, Penguin Education, Harmondsworth 1976.

Oberliesen, Rolf, *Information, Daten und Signale – Geschichte technischer Informatiorsverarbeitung*, Rowohlt Taschenbuch Verlag, Hamburg 1987.

Ohlman, Herbert, "Information: Timekeeping, computing, telecomunications and audiovisual technologies", *An Encyclopedia of the History of Technology*. Ed. Ian McNeil, Routledge, London 1996, s. 686 – 758.

Oliver, H. P. H., *The Discovery of the Electric Current*, Longmans Penguin Books, London 1967.

Pacey, Arnold, *Technology in the World Civilizations*, Basil Blackwell Ltd., Oxford 1990.

Saraç, Celâl, "Edouard Branly ve telsizin doğuşu", *Fen ve Teknik*, 1 (5), 138 – 145 (Mayıs 1940).

Saraç, Celâl, "Ampere", *Fen ve Teknik*, 1 (8), 238 – 242 (Ekim 1940).

Sparavigna, Amelia Carolina, "Petrus Peregrinus of Maricourt and the Medieval magnetism", *Mechanics, Material Science and Engineering Journal*, 2, 90 – 97 (2016).

Süsskind, Charles, "Guglielmo Marconi (1874 – 1937)", *Endeavour*, 33 (119), 67 – 72 (1974).

Teichmann, Jürgen, *Wandel des Weltbildes*, Rowohlt Taschehbuch Verlag, Hamburg 1985.

Teichmann, Jürgen. *Elektrizität*, Deutsches Museum, München 1996.

Turner, D. M., *Makers of Science – Electricity and Magnetism*, Oxford University Press, London 1927.

Vosa, C. G., "Alessandro Volta, 1745 – 1827", *Late Eighteenth Century European Scientists*, Ed. R. C. Olby, Pergamon Press, Oxford 1966, s. 127 – 142.

Wolf, A., *A History of Science, Technology and Philosophy in the 16th and 17th Centuries*, 2 cilt, Harper Torchbooks, New York 1959.

KİŞİ VE YER ADLARI DİZİNİ

Adapazarı, 110
Agricola, Georgius, 118, 277, 278, 292, 293, 388
Ahmed Besim Paşa, 531 – 534
Alabanda, 48
Alberti, Leon Battista, 66, 67
Ampère, André Marie, 626, 683, 687 – 689, 694
Antakya, 22, 108
Araphisar, 48
Aristoteles, 451, 452
Arkhimedes, 82, 85
Artemis Tapınağı, 41
Asi Nehri, 22, 31, 105
Atina, 18

Bardeen, John, 749
Barlow, William, 635, 636
Bayer, Carl Joseph, 364
Beccaria, Giovanni Battista, 671
Becher, Johann Joachim, 396, 398
Beighton, Henry, 475
Bell, Alexander Graham, 733, 734
Bell, Henry, 578
Bennet, Abraham, 655
Benz, Karl, 610, 613
Bergama, 36, 42, 43, 46
Bessemer, Henry, 321, 322
Bevis, John, 653
Biot, Jean Baptiste, 694
Biringuccio, Vannoccio, 255, 277, 282, 388
Bollée, Amédée Ernest, 572
Borsig, August, 555, 557
Boulton, Mathew, 484
Boyla, Robert, 402, 403, 459
Böttger, Johann Friedrich, 211, 212
Branca,, Giovanni de, 588
Branly, Edouard, 739 – 741, 746
Brattain, Walther H., 749
Bridgewater Dükü, bkz. Edgerton, Francis
Brindlay, James, 71
Brunel, Isambard Kingdom, 584
Bunsen, Robert Wlhelm, 710, 711
Bürgin, Emil, 759

Cabeo, Niccolo, 634, 635
Câbir bin Hayan, 384
Caldani, Antonio, 667
Campillo, Francisco Salvá y, 720
Canstatt, Paul Schilling, 720 – 722

Canton, John, 637, 654
Carlisle, Anthony, 678
Carnot, Nicolas Léonard Sadi, 528, 529
Cavendish, Henry, 658, 659, 667
Cawley, John, 470
Cezerî, 92 – 94, 115, 116
Chappe, Claude, 718
Clapeyron, Binoit PauL Emile, 528
Claudius, 20, 21
Coalbrookdale, 300, 307, 476
Cooke, William Fothergill, 723, 724, 730
Cookworthy, William, 212, 213
Corneliszoon, Cornelius, 165
Cort, Henry, 318
Coulomb, Charles Augustin, 638, 639, 658 – 660
Cowper, Edward Alfred, 308
Crompton, Rookes Evelyn Bell, 759
Cugnot, Nicolas Joseph, 570
Curtis, Charles Gordon, 596
Cuthbertson, John, 663, 664

Daimler, Gottlieb, 606 – 608
Daniell, John Frederick, 705
Darby, Abraham, 300, 301, 303, 307
Davy, Humpry, 679 – 681, 694
De Caus, Jean Salomon, 449, 450, 457
Della Porta, Giambattista, 447 – 449, 457
Demirköy, 346, 347
Derviş Paşa, Mehmed Emin, 350, 352
Deville, Saint – Claire, 359, 360
Diesel, Rudolph Christian, 614
Diocletianus, 31
D'Holbach, Baron, 306, 398
Dohuk, 4
Dudley Castle, 473

Ebubekir el-Râzî, 106, 384
Edison, Thomas Alva, 762, 784, 785
Efes, 43
Egerton, Francis, 71
Eiffel, Gustave, 342, 343
El-Dımışkî, 152
El-Mes'ûdî, 152
Eski Mısır, bkz, Mısır
Eumenes, 36, 42
Eupalinos, 15
Evans, Oliver, 504 – 507
Evliya Çelebi, 256, 345, 424, 425

Fabbroni, Giovanni Valentino Mattia, 675
Faraday, Michael, 626, 690 – 695, 697 – 699, 700, 751
Fatih Sultan Mehmed, 251
Faure, Camille, 712

Fausto, Veranzio, 153
Fay, Charles François de Cisternay du, 646, 647
Floransa, 451
Fourneyron, Benoit, 145
Fracastoro, Girolamo, 654
Francis, James Bicheno, 146
Franklin, Benjamin, 656 – 658
Fransa, 9, 10, 40, 44, 67, 208, 209, 294
Fucinus Gölü, 19
Fulton, Robert, 575

Galvani, Luigi, 667 – 671
Gassner, Carl, 709, 710
Gensanne, 470
Gerga. 48
Gilbert, William, 631 – 634
Glauber, Johann Rudolph, 402, 403
Gordon, David, 571
Gralath, Daniel, 651, 652
Gramme, Zénobe Théophile, 756
Gray, Stephan, 647 – 649, 653
Guericke, Otto von, 452 – 455, 641, 642, 647
Gurney, Goldsworthy, 571, 572
Guyot de Provins. 627,

Hadrianus, 20, 21
Hall, Charles Martin, 360, 361
Hama, 105,107
Hattuşa, 34
Hauksbee, Francis, 642, 643, 647
Henry, Joseph, 683 – 686, 699, 727
Henscchel, Karl Anton, 219
Hephaistos, 274 – 276
Heredotos, 14
Heron, 16, 110, 446, 447, 450
Héroult, Paul Louis Toussaint, 360, 361
Hertz, Heinrich, 738
Hjorth, Soren, 53
Honnecourt, Willard de, 136
Horasan, 152
Huntsman, Benjamin, 314
Huygens, Christian, 458 – 460

Irak, 4
Ispanya, 7, 12, 27, 29, 69, 86, 99, 102, 114

İshak Efendi, 259, 260, 350
İskenderiye, 446
İskenderiyeli Heron, bkz. Heron
İsmail bin Rezzáz el-Cezerî, bkz. Cezerî
İran, 151, 152
İznik, 201

Joule, James Prescott, 530
Justinianus, 50

Kato, Yogoro, 638, 639
Kelby, William, 321, 322

Kıbrıs, 237
Kircher, Athanasius, 635, 636
Kleist, Ewald Jürgen Georg von, 650, 651
Knight, Gowin, 637
Köln, 48
Kopais Gölü, 18
Korting, Ernst ve Bartold, 602, 603
Kritovulos, 251
Ktesibios, 110 – 112
Kunckel, Johann, 396, 397, 402

Lanchester, Frederick William, 613
Laval, Carl Gustav Patrik de, 589, 590
Leibniz, Gottfried Wilhelm, 642
Leclanché, Georges, 707, 708
Lenoir, Jean Joseph Etienne, 600, 601
Lenz, Heinrich Friedrich, 697
Leonardo da Vinci, 137, 156
Le Sage, Georges Louis, 719
Lesseps, Ferdinand de, 73 – 75
Leyden, 650
Lodgé, Oliver, 742
Loing Nehri, 67
Loire Nehri, 67
Louis, XIV, 458
Lyon, 40, 43

Macquer, Pierre Joseph, 212, 213
Magdeburg, 452, 455
Marco Polo 196
Marconi, Guglielmo, 742 – 744
Martin, Pierre Emile, 331, 333
Maxwell, James Clerk, 626, 737, 738
Maybach, Wilhelm, 607, 610
Meret, Christopher, 394, 395
Merida, 12
Mezopotamya, 188, 189, 221, 243, 370, 378
Michell, John, 637, 638, 658, 659
Milano, 65
Mimar Sinan, 50, 51
Mısır, 186, 221, 234, 238, 239, 243, 245, 246, 268, 370, 371
Morse, Samuel Finlay Breese, 685, 726 – 729
Murano Adası, 399
Mushet, Robert Forester, 324
Musschenbroeck, Peter van, 650

Nasmyth, James Hall, 598, 599
Neri, Antonio, 394, 395
Nernst, Walther, 715
Newcomen, Thomas, 9, 470 – 478, 488
Nicholson, William, 678
Nimes, 9

Ninova, 4
Nollet, Jean Antoine, 644, 645
Norman, Robert, 630, 631

Oersted, Hans Christian, 626, 682 – 684
Ohm, Georg Simon, 700, 701
Okeanos, 60
Orontes, 31, 105
Otto, Nikolaus, 604 – 606

Pacinotti, Antonio, 756
Palissy, Bernard, 208 – 210
Papin, Denis, 459 – 464
Parsons, Charles Algernon, 590 – 594, 768
Patara, 39
Paxton, Joseph, 342, 340
Pelton, Lester Allan, 148, 765
Peregrinus, Peter, 628, 629
Philadelphia, 656, 657
Philon, 105
Pixii, Hippolyte, 752
Planté, Gaston, 712
Polykrates, 15
Poncelet, Jean Victor, 143, 765
Priestley, Joseph, 658

Raglan Castle, 456
Ramsden, Jesse, 663, 664
Rateau, Auguste Camille Edmond, 595
Reichenbach, Georg, 492
Roma, 19
Roebuck, John, 484

Samakov, 345
Samakovcuk, 346
Samandağı, 22
Samos Adası, 14, 15
Sardes, 235
Saxton, Joseph, 752
Savery, Thomas, 464 – 470, 488
Sayda, 371
Schottky, John, 749
Schürer, Christoph, 401
Segovia, 7
Seleucie di Pieria, 22, 24
Sennacherib, 4
Sévres, 212, 220
Sidon, 371
Siemens, Charles William, 331, 332
Siemens, Ernst Werner von, 754 – 756, 777
Smeaton, John, 476 – 478
Soemmerring, Samuel Thomas von, 720 – 722
Somerset, Edward, 456, 457, 465
Stephenson, George, 541, 542, 544
Stephenson, Robert, 542
Sturgeon, William, 683, 752, 753
Sulzer, Johann Georg, 673, 674
Sûr, 371
Suriye, 27, 31
Swan, Joseph Wilson, 784, 785
Symington, William, 573, 574

Şam, 95

Takei, Takeshi, 638, 639
Takiyüddin el-Rásıd, 115, 116
Tesla Nikola, 747, 748, 765 – 767, 774, 775, 780, 783
Thales, 625, 627, 640
Theophillus, 248, 249, 265, 381 – 383
Thomas, Sidney Gilchrist, 329, 330
Thompson, Benjamin, 679
Thor, 275, 276
Titus, 22 – 24
Torricelli, Evangelista, 450, 451, 454
Trevithick, Richard, 504 – 506, 540, 541, 570
Tyre, 371

Varley, Cromwell Fleetwood, 754
Veil, Alfred, 727
Venedik, 399
Versailles Sarayı, 44, 458
Vespasianus, 22 – 24
Vitruvius, 35, 36, 41, 57, 83, 98, 105, 110, 111, 128, 131
Volta, Alessandro, 625, 626, 671 – 675. 677, 703
Vulkan, 274

Watson, Thomas, 733
Watson, William, 653, 654
Watt, James, 445, 479 – 492
Wedgwood, Josiah, 212 – 214
Welsbach, Carl Auer von, 786
Wenström, Jonas, 759
Westinghouse, Georg, 766, 774
Wheastone, Charles, 723, 724, 730, 755
Wild, Henry, 759
Wilkinson, John, 484, 485
Wilson, Benjamin, 637
Wimshurst, James, 663, 665
Winkler Johann Heinricn, 651, 652
Woolf, Arthur, 508, 509

Zonca, Vittorio, 66, 67

KONU DİZİNİ

(Kitap adları italik olarak yazılmıştır)

Adapazarı su çarkı, 110
adi elektrik, 691
ağız üfleçleri,239
ahşap borular, 32
Akdeniz tipi yel değirmenleri, 162
akümülatör, 703
Alcantarilla Barajı, 27
alev borulu kazanlar, 501 502
al-kali, 384
alkali tuzu, 384
Alman cam fırınları, 399, 418
Almanya'da demiryolları, 555 – 558
alternatif akım, 760
altrnatif akım motorları, 773
alternatör, 761
altın, 233 – 235
alum, 358
alumen, 358
alüminyum, 358 – 360
Amerikan lokomotifleri, 552, 553
Anglée Kâğıt Fabrikası, 139
Appolonus su yolu, 47
Ardışık silindirli bileşik makineler, 509 – 511, 524
Arkhimedes vidası, 82 – 88
Ars Vitraria Experimentalis, 396
arsenik tuncu, 245
arsenikli bakır, 243
Art de la Verrerie, 396
assarium, 111, 112,
asenkron motorlar, 774 – 776
Asya'da demiryolları, 560, 561
atmosferik makine, 471
Attalos su yolu, 46
Avrupa'da demiryolları, 554
Aygır Gölü künkleri, 35
ayna demiri, 324
ayna yapımı, 421, 422
azurit, 237, 241

Bakır, 236, 243
bakır borular, 45
Bakır Çağı, 241
barajlar, 27 - 31
Basawakkulam Barajı, 27
barutlu makine, 458 – 460, 462
bazik Bessemer yöntemi, 329, 330
Benz motoru, 611 – 613
Bergama su yolları, 46 – 48
Bessemer konvertörü, 321 – 328
Bessemer yöntemi, 321 323

beyaz hamur dönemi, 204
Beykoz camları, 434, 435
Beykoz Hamidiye Kâğıt Fabrikası, 536
Beykoz işi, 434
biçimlendirme yöntemleri, 183, 184
bileşik buhar makineleri, 508 – 517
Binbirdireik Sarnıcı, 50
Birinci Mahmud Bendi, 53
birincil pil, 703
birinci sınıf iletken, 674
blauofen, 289
bloom, 286
bloomery, 286
boğa gözü, 405
boşluk, 451 – 454
bottle kiln, 214, 217, 218
Boulton & Watt firması, 484 – 486
Bozdoğan Kemeri, 50
Böget Barajı, 27, 30
Bridgewater Kanalı, 71 – 73
buğ gemisi, 531
buhar kazanları, 497 – 503
buhar makinesi, 445
buhar makinesinin gelişimi, 493, 494
buhar makinesinin verimi, 527
buhar türbini, 587, 588
buharlı arabalar, 518, 569 – 572
buharlı çekiç, 598, 599
buharlı lokomotifler, 540 – 553
buharlı pompa, 457
Bunsen pili, 710, 711
burulma terazisi, 659 – 661

Callaud pili, 707
cam, 369
cam biçimlendirme yöntemleri, 374 – 378
cam çamuru yöntemi, 374
cam fırınları, 378 – 383, 388 – 394, 418 – 420
cam fiyatları, 431 - 432
cam işleme, 415 – 417
cam üretimi, 388 – 394
cam yapımı (Avrupa Ortaçağı), 369, 381 – 384
cam yapımı (İslâm Ortaçağı), 384 – 388
camsı elektrik, 646 – 647
Canal de Briare, 67 – 69
Canal d'Orleans, 67
canlı elektriği, 668
Carnot çevrimi, 528, 529
Centenillo madenleri, 86, 87
cevher, 227
Cezerî'nin su pompaları, 116
Charlotte Dundas, 574, 575
ciconia. 79
cire perdue yöntemi, 240
Clermont, 575 – 577
Corliss valfi, 496
Comet, 579 – 580
compound buhar makineleri, 508 – 517
Consuegra Barajı, 27, 30, 31
Cornalvo Barajı, 27, 28
Cornish tipi kazanlar, 499, 500
Coulomb yasası, 658, 661 – 663
Cowper kuleleri, 309 -311
crown camı, 405

crown of cups, 675, 676
Crystal Palace, 341 – 343
cuprum, 237
Curtis buhar türbini, 596
Cyprium, 237

Çan dökümü, 249 – 251
çarkçı, 573
Çavdarhisar Barajı, 27
çeşm-i bülbül, 434
çıkrık, 81, 82
çırpıcı dibeği, 139
çift etkili buhar makinesi, 487
çift etkili terazi kollu döner hareketli buhar makinesi, 520
Çin porselenleri, 196, 197, 204, 211
çini, 200
çinicilik, 200
çinko, 263 – 265
çoklu genleşmeli buhar makineleri, 508 – 517
çömlek,181
çömlek biçimlendirme yöntemleri, 183, 184
çömlek pişirme işlemi, 187 – 189
çömlek üretiminin aşamaları, 182
çömlekçi çarkı, 185, 186
çömlekçi fırınları, 187 – 189
çömlekçilik, 181

Daimler'in arabası, 609
Daniell pili, 705, 706
davul sargı, 759
Davy lâmbası, 680
De Arte Vetraria, 394
De Diversis Artibus, 248
De La Pirotechnia, 255, 277 – 279, 388
De Re Aedificatoria, 66
De Re Metallica, 277, 278, 291, 398
debi ölçümü, 61 – 64
değirmen taşı, 125
demir borular, 44, 45
demir elde edilmesi, 269 – 274, 294 – 300
demir ve çelik üretimi, 334 – 341
demir ve çelik yüzyılı, 335
demokratik metal, 269
Demirköy Dökümhanesi, 347 – 350
Demophon su yolu, 46
denizaltı telgraf kablosu, 730, 731
Diesel motoru, 614, 615
digester, 460, 461
dikey çarklı su değirmenleri, 128 – 134
dinamo, 698
direnç, 700, 701
diyaframlı pil, 706
diyod, 749
Diversarum Artium Schedula, 381
doğal bakır, 237, 238
doğal bakırın dökümü, 238
doğru akım motorları, 772
dökme demir, 269
dövme demir, 269, 318 – 320
drop (düşme) valf, 498
drum sargı, 759
düşey milli yel değirmenleri, 151 – 155
düşey üçlü genleşmeli buhar makinesi, 525

dynamo, 754

Eğilme açısı, 630, 631
Eiffel Kulesi, 342, 344
eklatör, 733
el değirmenleri, 121, 122
el ile çömlek biçimlendirme yöntemleri, 183, 184
electric railway, 777, 778
electrophorus, 673
elektrik arkı, 625, 781 – 783
elektrik jeneratörü, 751
elektrik makinesi, 642 – 646
elektrik motoru, 695, 772
elektrik mühendisliği, 988, 989
elektrik santralleri, 761
elektrik türlerinin özdeşliği, 691, 692
elektrikler, 648
elektrikle aydınlatma, 781
elektrikli lokomotif, 779
elektrikli telgraf, 720
elektrikli tramvay, 777 – 779
elektrodinamik, 687 – 689
elektrokimyasal pil, 703
elektrommagnetik dalgalar, 737, 738
elektroagnetik teori, 737
elektromagnetizma, 694
elektrometalurji, 358
elektromıknatıs, 684, 685, 698
elektroskop, 654, 655
elektroliz, 678, 681
elektroliz yasaları, 692 – 694

emme basma tulumbalar, 110 – 117
Ereğli Demir ve Celik Fabrikası, 353
Ergani madeni, 241
Erie Kanalı, 73
Eki Foça su yolu, 47
Experiments and Consideration About the Porosity of Bodies, 402

Falkirk Çarkı, 78
Falkirk Wheel, 78
Faraday elektroliz yasaları, 692, 693
Fatih'in topları, 251 – 254
fırınlar, 282 - 285
flüssofen, 289, 290
font borular, 44
Fourneyron su türbini, 145, 146
Francis su türbini, 146 – 148
Fucinus Gölü drenaj tüneli, 19 – 22
Furni Novi Philosophici, 402

Galenli diyod, 749
Galvanik elektrik, 678
Galvanik pil, 703
galvanoplasti, 716, 717
Gassner pili, 709 710
gemi makineleri, 518
gerilim, 674
Gramme sargılı dinamo, 756 – 758
grasshopper makinesi, 522
Great Eastern, 583, 584
Gukow Barajı, 27

Güneş ve gezegen dişli sistemi, 489

Halka fırın, 225, 226
Halkalı su tesisleri, 50
Hall yöntemi, 362
Hamidiye suyu tesisleri, 51
Harbaka Barajı, 27
haut fourneau, 290
hava boşaltma tulumbası, 453
hayvan gücü ile çalışan değirmenler, 122, 123
hayvansal elektrik, 668, 691
hematit, 268
hemimorfit, 263
Henschel fırını, 219
Héroult yöntemi, 363
Hoffmann halka fırını, 225, 226
hollander, 139
horror vacui, 452
Humus Barajı gölü, 27, 31

İç kalıp yöntemi. 375
içten yanmalı motorlar, 615 – 617
ikinci sınıf iletken, 674
ikincil pil, 703
illit, 191
indüksiyon akımı, 696, 697
İngiliz cam fırını, 418
İngiliz lokomotifleri, 547 – 551
İngiltere'de demiryolları, 559
İngiltere'de su değirmenleri, 70, 129, 130, 133
İran çarkı, 98
İskandinav değirmeni, 124
İskenderun Demir ve Çelik Fabrikası, 353
İslâm camcılığı, 372
İslâm döneminde çömlekçilik, 197 – 200
İstanbul'un su yolları, 49 – 55
İzmir su kemerleri, 13
İznik çiniciliği, 201 – 204

Jerwan su kemeri, 4 – 7

Kaerumataika Barajı, 27
Kaikos kanal su yolu, 48
Kâğıthane suyu tesisleri, 51
kalamin, 263
kaldıraç kollu makine, 526
kaldıraç sistemi, 79 – 81
kalıba döküm yöntemi, 375, 376
kalıplama yöntemleri, 375, 376
kalay, 244, 245
kalay tuncu, 245
kalkopirit, 237, 241
kanat tünelleri, 25, 26
Karabük Demir ve Çelik Fabrikası, 353 – 357
Karnub Barajı, 27
kasiterit, 244
kassiteros, 244
Katalan fırını, 285
kendini besleme, 753
kepçeli çark, 98, 99
keramik, 181
kereste biçme, 136, 137
Kiel Kanalı, 75, 77
kimyasal piller, 703
kireç, 221

kireç fırını, 222 – 224
kiremit fırını, 224
Kitab el-Havî, 106
Kitab fi Marifeti'l-hiyeli'l-hendesiyye, 92
kıpar, 237
Kırkçeşme su tesisleri, 50, 52, 55
kırmızı hamur dönemi, 202, 203
kırmızı siyah keramikler, 189 – 14
Köln su yolları, 48, 49
kömür üretimi, 304
körükler, 279 – 282
körüklü pompa, 118
Körting motoru, 602, 603
kok kömürü, 301, 302
Kopais Gölü tüneli, 18, 19
Korint Kanalı, 75, 76
krisokolla, 241
kristal diyod, 749
Ktesibios makinesi, 110
kupola ocağı, 338
kuprit, 241
kurbağa bacakları, 667 – 670
kuru pil, 709, 710
kurşun borular, 39 – 43
kurşunlu akümülatör, 711 – 715
kuvvet çizgileri, 634
künkler, 33 – 37
küreli hız düzenleyici, 489, 490

Laboratorium Chymicum, 396
Lancashire tipi kazanlar, 500, 501
Lanchester motoru, 613
L'Arte Vetraria, 396
Laval buhar türbini, 589, 590
Leclanché pili, 707 – 709
Lenoir motoru, 601
Lenz yasası, 697
Leyden şişesi, 650 – 654
Leyden Üniversitesi, 650
limonit, 268
Lizbon rezervuarı, 28
lokomobil, 518, 567 – 569
lokomotif makineleri, 518
lüle, 61
Lyon su sistemi, 40

Machine de Marly, 44, 45
Mc Naught'un terazi kollu bileşik makinesi, 522
maden, 227
madencilik, 227
madenlerden su çekilmesi, 99 – 102
Madradağ su yolu, 42, 46, 48
Magdeburg yarı küreleri, 455
magnetik çekim yasası, 638, 639
magnetik kemerler, 640
magnes, 627
magnetit, 268, 627
magnezyum elde edilmesi, 366, 367
Mahmut Şevket Paşa Köyü değirmeni, 127
malahit, 237, 241
Maudsley'in masa tipi makinesi, 522
mekanik jeneratör, 752
mekanik telgraf,718
Mercedes, 609, 610

Merida su kemeri, 12
metalik elektrik, 678, 691
metalleutes, 18
metalurji, 227
metalurjide temel süreçler, 229, 231
meteorik demir, 268
Mezopotamya çömlek fırınları, 188, 189
milh al-kali, 394
millefiori, 384
mineral, 227
Miner's Friend, 465
Minotto pili, 707
mıknatıs taşı, 627
mjölnir, 275
Moğlova Kemeri, 55
Morse alfabesi, 727 – 729
Mühendishane-i Berrî-i Hümâyûn, 259

Natron, 369
na'ura, 103
Nemi Gölü batığı, 90
Nernst formülü, 716
Newcomen makinesi, 471 – 479, 519
Niagara Falls Pover Co., 766, 768
non-elektrolitler, 648
noria, 103 – 110
noria çarkının yapısı, 106
Nova Teatro di Machine et Edificii, 66
Noviglio Grande, 65

Odun kömürü, 286 – 288, 300 – 302
odun külü, 384
Ortaçağ'da çömlekçilik, 204 – 208
Ortaçağ Sanayi Devrimi, 135
orta çelik, 269
Orukter amphibolos, 507
Osmanlı cam fırını, 424 – 430
otomatlar, 446
Otto motoru, 604 – 606

Ön ısıtma, 307 – 311
Örükaya Barajı, 27, 30
özindksiyon, 686

Panama Kanalı, 75
Papin'in pistonlu buhar makinesi, 461, 462
Papin'in buharlı tulumbası, 463
Papin tenceresi, 460, 461
paralelkenar sistemi, 487
paratoner, 657
Parsons buhar türbini, 590 – 594
Pearl Street Station santrali, 763
Pelton su türbini, 148 – 149
pencere camı üretimi, 405 – 413
Petra Barajı, 27
petuntse, 196
pik demir, 269
pirinç, 263 – 266
pirit, 268
pistonlu pompalar, 110 – 120
pistonlu valf, 495
pişmiş toprak borular, bkz, künkler

Pneumatika, 105
Politische Discurs, 396, 398
polykadia, 98
Poncelet su türbini, 143 – 144
Pont du Gard su kemeri, 9 – 12
porselen taşı, 196
pota çeliği, 314 – 317
pota fırını, 240
potalar, 240
potas eldesi, 414, 415
potasyum, 681, 682
Proserpina Barajı, 27, 29, 30
pulda fırını, 319, 320
puddling fırını, 319, 320
puddling yöntemi, 319, 320
pusula, 627, 628

Radyokondüktör, 741
Rateau buhar türbini, 595
reçinemsi elektrik, 646, 647
renkli camlar, 401. 402
Rio Tinto madeni, 99 – 102, 241
Rocket, 542, 543
Roma dönemi tulumbaları, 114, 115
Roma el değirmeni, 122
Roma kenti su kemerleri, 13
Roma su dağıtım sistemi, 57 – 60
Roma su değirmeni, 128, 129
Royal Institution, 679, 680
rüzgâr jeneratörü, 172
rüzgâra karşı bütünüyle dönen yel değirmeni, 157 – 159
rüzgâra karşı tepesi dönen yel değirmeni, 160 – 165

Sabit buhar makineleri, 518
sakiya, 89, 95, 104
salınımlı buhar makinesi, 526
Samos Adası tüneli, 14 – 17
sanayi casusluğu, 492
Sanayi Devrimi, 445
sandık, 112, 113
Savery'nin buharlı pompası, 465 – 470
Sayamaike Barajı, 27
Segovia su kemeri, 7, 8
Selçuklu çiniciliği, 201
Seleucie drenaj sistemi, 22 – 25
self excitation, 753
selfindüksiyon, 686
semaver tipi kazanlar, 497
sementasyon yöntemi, 313
seramik, 181
seren, 79
sert çelik, 269
senkron motorlar, 773
Sévres fırınları, 220
siderit, 268
Siemens – Martin fırını, 332, 333
Siemens – Martin yöntemi, 331, 332
Siláhdarağa Elektrik Santrali, 770 – 772
silindirleri yan yana bileşik buhar makinesi, 511 – 513
sınai piller, 703
sinterleştirme yöntemleri, 374, 375

smitsonit, 263
soda saflaştırma, 413
sodyum, 681, 682
Sotiel Coronado maden ocağı, 114
spiegeleisen, 324
statik elektirik, 625
statik elektrik makineleri, 663 – 665
statik elektrikli telgraf, 719, 720
stückofen, 286, 289
su borulu kazanlar, 502, 503
su çarkları, 135
su çeken yeldeğirmenleri, 163, 164
su değirmenleri, 121
su kemerleri, 4, 32, 65 – 67
su terazileri, 56, 57
su türbinleri, 242 – 249
Sûrnâme-i Hümâyûn, 425
Suriye camcılığı, 371, 372
suyun iletilmesi, 3, 14
suyun gizli buharlaşma ısısı, 481
suyun yükseltilmesi, 79
sürekli mıknatıs, 627, 628, 637, 638
sürgülü valf, 495
Sümer su iletim sistemleri, 33
sürtme ile elektriklenme, 640
Süveyş Kanalı, 74, 75

Şâduf, 79, 80
şap toprağı, 358
şarap kadehi deneyi. 630
şişe fırın, 214, 217, 218

Takiyüddin'in pompaları, 116, 117
Taksim suyu tesisleri, 51, 54, 64
tambur, 97, 98
taphrorychos, 18
taş borular, 37, 38
tek etkili buhar makinesi, 484
telgraf mühendisliği, 788
telefon, 733 – 736
tendem compound makine, 510
terazi kollu Cornish makine, 521
termodinamik, 445
termoelektrik, 691
termoiyonik diyod, 749
Terra sigillata, 195
ters sifon, 35, 39, 40, 42
Tesla bobini, 780
The Art of Glassmaking, 394
Thomas yöntemi, 329, 330
Ticinella Kanalı, 65
tolleno, 79
top dökümü, 251 – 259
Tophane-i Âmire, 256, 257
Tophane-i Âmire'de top dökümü, 256 – 259
toplaçlı motorlar, 773
Topuzlubend, 53
ransformatör, 697
transistör, 750
triyod lámba, 749
tuğla, 221 – 223
tuğla fırını, 225, 226
tulumbacılar, 112, 113
tunç, 245 – 248
tunç dökümü, 246, 248
tumbago, 235
turbine, 142

Turbinia, 594
Türkiye'de buhar makineleri, 539 – 541
Türkiye'de demiryolları, 560 – 566
Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş., 435, 436
tympanon, 97
tympanum, 97, 104

Uniflow valf, 497
Usûl-i Kimya, 350, 352
Usûlü's-Siyâga, 259 – 262, 350, 351

Üçlü genleşmeli dört silindirli makine, 515 – 517
üçlü genleşmeli üç silindirli makine, 514
üfleme yöntemi, 376 – 378
Üsküdar su yolları, 50

Vagon tipi kazanlar, 498
vakumlu diyod, 749
Valde Bendi, 54
Valverde Huelva pompası, 114
vapur, 531
vapurhane, 531
Venedik camcılığı, 399, 400
vitray tekniği, 403, 404
Volta pili, 676, 677, 703 – 705
volta – elektrometre, 693
Voltaik elektrik, 691

Watt'ın çift etkili terazi kollu makinesi, 520
Watt'ın ilk makinesi, 481 – 483
Watt'ın tek etkili terazi kollu makinesi, 519
Wedgwood pirometresi, 214, 215
Wolf fırını, 286
Woolf'un terazi kollu bileşik makinesi, 521

Yandan çarklı gemi, 573
yangın söndürme tulumbası, 112, 113,
yatay milli yel değirmenleri, 155 – 169
yatay çapraz bileşik makine, 524
yatay çarklı su değirmenleri, 124 – 127
yatay üçlü genleşmeli makineler, 524
yel değirmenleri, 151
yer değirmeni ile kereste biçilmesi,165
yel değirmeni ile su çekilmesi, 170 – 172
yel değirmeninde yön ve hızın ayarlanması, 166 – 169
Yerebatan Sarayı, 50
yumuşak çelik, 269
yüksek basınçlı buhar makineleri, 504 – 507
yüksek fırın, 289 – 298, 300 – 306, 312, 313, 351, 352, 355, 357

Zincirli su dolapları, 89 – 96